

⑨ 日本国特許庁(JP)

⑩ 特許出願公開

⑫ 公開特許公報(A) 平2-140743

⑮ Int. Cl.⁵

G 03 F 1/08
H 01 L 21/027

識別記号

A

庁内整理番号

7428-2H

⑬ 公開 平成2年(1990)5月30日

7376-5F H 01 L 21/30 3 0 1 P

審査請求 未請求 請求項の数 8 (全19頁)

⑭ 発明の名称 マスクおよびその製造方法

⑯ 特 願 昭63-295350

⑰ 出 願 昭63(1988)11月22日

⑱ 発 明 者 岡 本 好 彦 東京都青梅市今井2326番地 株式会社日立製作所デバイス
開発センタ内

⑲ 出 願 人 株式会社日立製作所 東京都千代田区神田駿河台4丁目6番地

⑳ 代 理 人 弁理士 筒井 大和

明 細 書

1. 発明の名称

マスクおよびその製造方法

2. 特許請求の範囲

1. 透光領域、及び透過領域を備え、少なくとも部分的にコヒーレントな光の照射によって所定パターンを転写するマスクであって、前記透過領域の一部に透明膜を形成し、前記透明膜を透過した光と、前記透明膜が形成されていない透過領域を透過した光との間に位相差が生じ、前記光の干渉光が、前記透過領域と透光領域との境界部分において弱め合うように、前記透明膜を配置したことを特徴とするマスク。
2. 前記透光領域または透過領域のパターンを拡大または縮小することによって、前記透明膜のパターンデータを作成することを特徴とする請求項1記載のマスクの製造方法。
3. 透光領域、及び透過領域を備え、少なくとも部分的にコヒーレントな光の照射によって所定パターンを転写するマスクであって、前記透過

領域の一部に位相シフト溝を形成し、前記位相シフト溝を透過した光と、前記位相シフト溝が形成されていない透過領域を透過した光との間に位相差が生じ、前記光の干渉光が、前記透過領域と透光領域との境界部分において弱め合うように、前記位相シフト溝を配置したことを特徴とするマスク。

4. 前記透光領域または前記透過領域のパターンデータと、前記透光領域または前記透過領域のパターンを拡大または縮小して得られたパターンデータとを論理演算することによって、前記位相シフト溝のパターンデータを作成することを特徴とする請求項3記載のマスクの製造方法。
5. 前記位相シフト溝を形成する際、集束イオンビームを用いることを特徴とする請求項3記載のマスクの製造方法。
6. 透光領域、及び透過領域をマスク基板に備え、少なくとも部分的にコヒーレントな光の照射によって所定パターンを転写するマスクであって、前記透光領域の一部に、前記マスク基板の上面

に連する溝を形成するとともに、前記溝を透過した光と前記透過領域を透過した光との間に位相差が生じ、前記光の干渉光が、前記遮光領域の端部において弱め合うように、前記溝の上方に透明膜を設けたことを特徴とするマスク。

7. 前記溝の上方に透明膜を設ける手段に代えて、前記溝の下方の前記マスク基板に位相シフト溝を形成したことを特徴とする請求項6記載のマスク。

8. 前記位相シフト溝の深さを d 、前記位相シフト溝が設けられた材料の屈折率を n 、照射される光の波長を λ とすると、位相シフト溝の深さ d は、 $d = \lambda / [2(n-1)]$ の関係を満たすことを特徴とする請求項7記載のマスク。

3. 発明の詳細な説明

〔産業上の利用分野〕

本発明は、ホトリソグラフィで用いるためのマスク、及びその製造技術に関し、特に、半導体装置の製造に用いるマスクに適用して有効な技術に関するものである。

における光強度分布のモジュレーション(modulation)が低下してしまい、マスクのパターン転写精度が大幅に低下してしまう。

このような問題を改善する手段として、例えば、一対の透過領域の各々を透過した光の間に位相差を生じさせる位相推移マスクが提案されている。

位相推移マスクについては、例えば、特公昭62-59298号公報に記載があり、上記公報には、遮光領域と透過領域とを備えたマスクにおいて、遮光領域を挟む一対の透過領域の少なくとも一方に透明材料を設け、露光の際に各々の透過領域を透過した光の間に位相差を生じさせ、これらの光がウエハ上の本来遮光領域となる領域において干渉して強め合わないようにしたマスク構造について説明されている。

このようなマスクにおける透過光の作用を第19図(a)~(d)により説明すると以下のとおりである。

すなわち、第19図(a)に示すマスク51上の所定の集積回路パターンを投影露光法などによりウエハ(図示せず)上に転写する際、遮光領域Nを

〔従来の技術〕

近年、半導体集積回路においては、回路を構成する素子や配線の微細化、並びに素子間隔や配線間隔の狭小化が進められている。

しかし、このような素子や配線の微細化、並びに素子間隔や配線間隔の狭小化につれ、少なくとも部分的にコヒーレントな光の照射によって、ウエハ上に集積回路パターンを転写するマスクのパターン転写精度の低下が問題となりつつある。

これを第18図(a)~(d)により説明すると以下のとおりである。

すなわち、第18図(a)に示すマスク50上の所定の集積回路パターンを投影露光法などによりウエハ(図示せず)上に転写する際、遮光領域Nを挟む一対の透過領域 P_1 、 P_2 の各々を透過した光の位相は、第18図(b)に示すように同相であるため、これらの干渉光が第18図(c)に示すように、上記した一対の透過領域 P_1 、 P_2 に挟まれた遮光領域Nにおいて強め合ってしまう。

このため、第18図(d)に示すように、ウエハ上

挟む一対の透過領域 P_1 、 P_2 のうち、透明材料52の設けられた透過領域 P_2 を透過した光の位相と、通常の透過領域 P_1 を透過した光の位相との間には、第19図(b)、(c)に示すように180度の位相差が生じている。

したがって、一対の透過領域 P_1 、 P_2 を透過した光が、これら透過領域 P_1 、 P_2 に挟まれた遮光領域Nにおいて干渉して打ち消し合うため、第19図(d)に示すように、ウエハ上における光強度分布のモジュレーションが改善され、マスク51のパターン転写精度が良好となる。

〔発明が解決しようとする課題〕

ところで、一対の透過領域を透過した光の間に位相差を生じさせる従来の技術は、パターンが一次元的に単純に繰り返して配置されている場合には、透明材料の配置に問題はないが、実際の集積回路パターンのようにパターンが二次元的に配置されている場合、以下の問題があることを本発明者は見出した。

すなわち、従来の技術においては、一対の透過

領域の各々を透過した光の間に位相差が生じるように透明材料を配置させるため、言い換えると、一対の透過領域の一方に透明材料を配置すると他方には透明材料を配置できないため、実際の集積回路パターンのようにパターン形状が複雑な場合、部分的に十分な解像度が得られないパターンが生じてしまう。例えば、第20図に示すような集積回路パターン53がある場合、透過領域P₁に透明材料を設ければ、確かに、遮光領域N₁、N₂の解像度は向上するが、透過領域P₁または透過領域P₂には、透明材料を設けることができないため、遮光領域N₂の解像度の向上が計れない。このため、複雑な集積回路パターンの形成されたマスク基板上に透明材料を配置するには、上記した透明材料の配置の制約を考慮しながら、透明材料用の特別なパターンを設計、図面化せねばならないため、そのパターンの設計が非常に困難である。

したがって、透明材料が設けられたマスクの製造に多大な時間を要してしまう。

るマスクであって、前記透過領域の一部に透明膜を形成し、前記透明膜を透過した光と、前記透明膜が形成されていない透過領域を透過した光との間に位相差が生じ、前記光の干渉光が、前記透過領域と遮光領域との境界部分において弱め合うように、前記透明膜を配置したマスクである。

請求項2記載の発明は、請求項1記載のマスクを製造する際、前記遮光領域または透過領域のパターンを拡大または縮小することによって、前記透明膜のパターンデータを作成するマスクの製造方法である。

請求項3記載の発明は、遮光領域、及び透過領域を備え、少なくとも部分的にコヒーレントな光の照射によって所定パターンを転写するマスクであって、前記透過領域の少なくとも一部に位相シフト溝を形成し、前記位相シフト溝を透過した光と、前記位相シフト溝が形成されていない透過領域を透過した光との間に位相差が生じ、前記光の干渉光が、前記透過領域と遮光領域との境界部分において弱め合うように、前記位相シフト溝を配

本発明は上記課題に着目してなされたものであり、その目的は、マスクに形成された複雑、かつ微細なパターン全ての転写精度を向上させることのできる技術を提供することにある。

本発明の他の目的は、複雑なパターンであっても位相をシフトさせる手段を容易に配置することのできる技術を提供することにある。

本発明の更に他の目的は、位相をシフトさせる手段を備えるマスクの製造時間を短縮させることのできる技術を提供することにある。

本発明の前記ならびにその他の目的と新規な特徴は、明細書の記述および添付図面から明らかになるであろう。

〔課題を解決するための手段〕

本願において開示される発明のうち、代表的なものの概要を簡単に説明すれば、以下のとおりである。

すなわち、請求項1記載の発明は、遮光領域、及び透過領域を備え、少なくとも部分的にコヒーレントな光の照射によって所定パターンを転写す

置したマスクである。

請求項4記載の発明は、請求項3記載のマスクを製造する際、前記遮光領域または前記透過領域のパターンデータと、前記遮光領域または前記透過領域のパターンを拡大または縮小して得られたパターンデータとを論理演算することによって、前記位相シフト溝のパターンデータを作成するマスクの製造方法である。

請求項5記載の発明は、前記請求項3記載のマスクを製造する際、前記位相シフト溝を集束イオンビームを用いて形成することの特徴とする請求項3記載のマスクの製造方法である。

請求項6記載の発明は、遮光領域、及び透過領域をマスク基板に備え、少なくとも部分的にコヒーレントな光の照射によって所定パターンを転写するマスクであって、前記遮光領域の一部に、前記マスク基板の主面に連する溝を形成するとともに、前記溝を透過した光と前記透過領域を透過した光との間に位相差が生じ、前記光の干渉光が、前記遮光領域の端部において弱め合うように、前

記溝の上方に透明膜を設けたことを特徴とするマスクである。

請求項7記載の発明は、請求項6に記載した溝の上方に透明膜を設ける手段に代えて、前記溝の下方の前記マスク基板に位相シフト溝を形成したマスクである。

請求項8記載の発明は、請求項7に記載した位相シフト溝の深さを d 、前記位相シフト溝が設けられた材料の屈折率を n 、照射される光の波長を λ とすると、位相シフト溝の深さ d が、 $d = \lambda / \{ 2(n-1) \}$ の関係を満たすマスクである。

〔作用〕

上記した請求項1、3、6または7記載の手段によれば、露光の際、一つの透過領域内において、透明膜、あるいは位相シフト溝を透過した光と、これらが形成されていない部分を透過した光とが、透過領域と遮光領域との境界部分、または遮光領域の端部において弱め合うように干渉させることにより、マスク上のパターンの転写精度を向上させるため、すなわち、個々の透過領域を透過した

光のなかで位相差を生じさせ、パターン転写精度を向上させるため、マスクに形成されたパターンが複雑であっても、それに対応して透明膜、あるいは位相シフト溝を形成することができる。このため、マスク上のパターンが複雑であっても、そのパターン全ての転写精度を向上させることができる。

また、透明膜、または位相シフト溝の配置が容易となる。

請求項2または4記載の発明によれば、透明膜、または位相シフト溝のパターンデータを特別に作成する必要がないため、位相をシフトさせる透明膜、または位相シフト溝を備えるマスクの製造時間を大幅に短縮させることができる。

請求項5記載の発明によれば、位相シフト溝を短時間で形成できる。

請求項8記載の発明によれば、一つの透過領域において、位相シフト溝を透過した光と、通常の透過領域を透過した光との間に、180度の位相差を生じさせることができる。

〔実施例1〕

第1図は本発明の一実施例であるマスクの要部断面図、第2図(a)~(c)はこのマスクの製造工程を示すマスクの要部断面図、第3図(a)は第1図に示すマスクの露光状態を示す断面図、第3図(b)~(d)はこのマスクの透過領域を透過した光の振幅、及び強度を示す説明図である。

第1図に示す本実施例1のマスク1aは、例えば、半導体装置の所定の製造工程において、図示しないウエハ上に所定の集積回路パターンを転写する、実寸の集積回路パターンの5倍の集積回路パターンの原画が形成されたレチクル（以下、5倍レチクルという）である。

マスク1aを構成する透明なマスク基板（以下、単に基板という）2は、例えば、屈折率1.47の合成石英ガラスからなり、その主面上には、例えば、厚さ500~3000Åの金属層3が所定の形状にパターン形成されている。

金属層3は、例えば、Cr層から、あるいはCr層の上に酸化Cr層が積層され構成されており、

露光の際には、遮光領域Aとなる。また、金属層3が除去されている部分は、露光の際、透過領域Bとなる。そして、これら遮光領域Aと透過領域Bとによって集積回路パターンの原画が構成されている。

本実施例1においては、上記した金属層3のパターン幅よりも僅かに幅広となるようにパターン形成された透明膜4aが配置されている。すなわち、マスク1aには、各々の金属層3の輪郭部から透過領域Bに一部はみ出した透明膜4aがパターン形成されている。言い換えると、一つの透過領域Bは、透明膜4aに被覆された部分と透明膜4aの形成されていない部分とにより構成されている。

透明膜4aは、酸化インジウム(InOx)などからなり、例えば、透過領域Bのパターン幅を2 μm とすると、はみ出した透明膜4aの幅は、0.5 μm 程である。

そして、今仮に、はみ出した透明膜4aの基板2の主面からの厚さを X_1 、基板2の屈折率を n 、

露光の際に照射される光の波長を λ とすると、透明膜4aは、その厚さ X_1 が、 $X_1 = \lambda / (2(n-1))$ の関係を満たすように形成されている。これは露光の際、マスク1aに照射され、一つの透過領域Bを透過した光のうち、透明膜4aを透過した光の位相と、通常の透過領域Bを透過した光の位相との間に180度の位相差を生じさせるためである。例えば、露光の際に照射される光の波長 λ を、 $0.365\mu\text{m}$ (i線)、透明膜4aの屈折率を1.5とすると、透明膜4aの基板2の主面からの厚さ X_1 を、約 $0.37\mu\text{m}$ とすればよい。

なお、図示はしないが、マスク1aには、例えば、透明膜4aを形成する際、金属層3との位置合わせをするための位置合わせマークが形成されている。

次に、本実施例1のマスク1aの製造方法を第2図(a)~(c)により説明する。

まず、第2図(a)に示すように、研磨、洗浄した透明な基板2の主面上に、例えば、厚さ $500\sim 3000\text{\AA}$ のCrなどからなる金属層3をスパッ

$0.8\mu\text{m}$ のホトレジスト5bを塗布し、さらにその上面に、例えば、厚さ $0.05\mu\text{m}$ のアルミニウム(Al)からなる帯電防止層6をスパッタリング法などにより形成する。

その後、上記した集積回路パターンのパターンデータにおいて、透光領域A、または透過領域Bのパターンの幅を拡大または縮小して得られた透明膜4aのパターンデータに基づいて、電子線露光方式などにより、例えば、透明膜4aを残す部分のホトレジスト5bに電子線Eを照射し、露光する。

本実施例1においては、上記した透明膜4aのパターンデータは、例えば、透光領域Aのパターン幅を太らせることにより、自動的に作成されるようになっている。すなわち、透明膜4aのパターンデータは、集積回路パターンのパターンデータを作成する時と同じように特別に作成するのではなく、集積回路パターンにおけるパターンデータに基づいて作成される。

そして、ホトレジスト5bを露光後、現像、透

タリング法などにより形成し、次いで、この金属層3の上面に、例えば、 $0.4\sim 0.8\mu\text{m}$ のホトレジスト5aを塗布する。

そして、ホトレジスト5aをブリーチした後、予め、図示しない磁気テープなどにコード化され記録された半導体装置の集積回路パターンの位置座標、形状などが収められたパターンデータに基づいて、電子線露光方式などにより、ホトレジスト5aの所定部分に電子線Eを照射する。

その後、第2図(b)に示すように、ホトレジスト5aの露光部分を所定の現像液により除去し、露出した金属層3をドライエッチング法などによりエッチングして所定の形状にパターン形成する。

そして、レジスト剝離液によりホトレジスト5aを除去し、基板2を洗浄、検査した後、第2図(c)に示すように基板2の主面に、基板2の主面からの厚さが約 $0.37\mu\text{m}$ の酸化インジウム(In₂O₃)等からなる透明膜4aを金属層3を被覆するようにスパッタリング法などにより形成する。

次いで、透明膜4aの上面に、例えば、 $0.4\sim$

透明膜4aの所定部分のエッチング、ホトレジスト5bの除去、さらに洗浄、検査などの工程を経て、第1図に示したマスク1aが製造される。

このようにして製造されたマスク1aを用いて、ホトレジストが塗布されたウエハ上にマスク1a上の集積回路パターンを転写するには、例えば、次のようにする。

すなわち、図示しない縮小投影露光装置にマスク1a、及びウエハを配置して、マスク1a上の集積回路パターンの原面を光学的に1/5に縮小してウエハ上に投影するとともに、ウエハを順次ステップ状に移動させるたびに繰り返し投影露光することによって、ウエハ全面に集積回路パターンの転写を行う。

次に、本実施例1の作用を第3図(a)~(d)により説明する。

第3図(a)に示す本実施例1のマスク1aにおいては、マスク1a上の所定の集積回路パターンの原面を縮小露光法などによりウエハ上に転写する際、マスク1aの各々の透過領域Bにおいて、透

明膜4aを透過した光と、通常の透過領域Bを透過した光との間には180度の位相差が生じる(第3図(b),(c))。

そして、透明膜4aは、各金属層3の端部に配置されているため、一つの透過領域Bを透過した光のうち、透明膜4aを透過した光と通常の透過領域Bを透過した光とが、透過領域Bと隣接する透光領域A、Aとの境界部分において弱め合う。

したがって、ウェハ上の光強度分布のモジュレーション(modulation)が大幅に改善される(第3図(d))。特に、ウェハ上に投影される各々の透光領域Aの端部のぼけが大幅に低減され、パターン転写精度を大幅に向上させることができる。

なお、光強度は、光の振幅の2乗となるため、ウェハ上における光振幅の負側の波形は、第3図(d)に示すように、正側に反転される。

ところで、従来の技術は、一対の透過領域を透過した光の間に位相差を生じさせる技術、言い換えると二つの透過領域で一つの作用を生じさせる技術であった。

が複雑であっても、それに対応して透明膜4aを配置できる。

そして、このため、透明膜4aの配置が容易であり、透明膜4aのパターンデータを集積回路パターンを構成する透光領域A、または透過領域Bのパターンデータに基づいて自動的に作成することが可能となる。

このように本実施例によれば以下の効果を得ることができる。

- (1)、マスク1aの各々の透過領域Bにおいて、透明膜4aを透過した光と、通常の透過領域Bを透過した光との間に180度の位相差が生じ、これらの光が透光領域Aと透過領域Bとの境界部分において弱め合うため、ウェハ上の光強度分布のモジュレーションが大幅に改善される。特に、ウェハ上に投影される透光領域Aのパターン像の端部のぼけが大幅に低減され、パターン転写精度を大幅に向上させることができる。
- (2)、上記(1)により、マスク上に形成されたパターンが、微細、かつ複雑な集積回路パターンであっ

そして、前記発明が解決しようとする課題で説明したように、実際の集積回路パターンのようにパターンが複雑で、かつ、二次元的に配置されている場合、部分的にパターン転写精度が低下してしまう部分が生じ、透明材料の配置に制約があった。

すなわち、マスク上のパターンの全てのパターン転写精度を向上させるような透明材料の配置が非常に困難であった。

したがって、透明材料のパターンデータを自動的に作成することができず、これを作成する場合には、パターン転写精度が部分的に低下しないようにその配置を考慮しながら、透明材料用の特別なパターンを設計、図面化し、このパターンをコンピュータ処理することによって作成しなければならない。

これに対して、本実施例1のマスク1aにおいては、一つの透過領域を透過した光のなかで位相差を生じさせ、パターン転写精度を向上させる技術であるため、マスク1aに形成されたパターン

でも、部分的にパターン転写精度が低下することがなく、パターン全ての転写精度を向上させることができる。

- (3)、位相をシフトさせる透明膜4aは、一つの透過領域Bを透過した光の位相差のみを考慮する技術であるため、複雑な集積回路パターンであっても、その配置が容易となる。
- (4)、上記(3)により、透明膜4aのパターンデータを、集積回路パターンを構成する透光領域A、または透過領域Bのパターンデータに基づいて自動的に作成させることができる。
- (5)、上記(3)、(4)により、透明膜4aのパターンデータを短時間で作成することができるため、位相をシフトさせる透明膜4aの形成されたマスク1aの製造時間を大幅に短縮させることができる。

〔実施例2〕

第4図は本発明の他の実施例であるマスクの要部断面図、第5図(a)、(b)はこのマスクの製造工程を示すマスクの要部断面図、第6図はこのマスクを製造する際に用いられる集束イオンビーム装置

の構成図、第7図(a)は第4図に示すマスクの露光状態を示す断面図、第7図(b)~(d)はこのマスクの透過領域を透過した光の振幅、及び強度を示す説明図である。

第4図に示す本実施例2のマスク1bにおいては、露光の際に透過領域Bを透過した光に位相差を生じさせる手段として、実施例1の透明膜4aに代えて、露光の際、透過領域Bとなる基板2に位相シフト溝7aが形成されている。

位相シフト溝7aは、露光の際、遮光領域Aとなる金属層3の端部に沿って、すなわち、金属層3の輪郭部に沿って形成されている。位相シフト溝7aの幅は、例えば、透過領域Bのパターン幅を2μmとすると、0.5μm程である。

そして、仮に、位相シフト溝7aの深さをd、基板2の屈折率をn、露光の際に照射される光の波長をλとすると、位相シフト溝7aは、その深さdが、 $d = \lambda / (2(n-1))$ の関係を満たすように形成されている。これは露光の際、マスク1bに照射された光の内、各々の透過領域Bに

おいて、位相シフト溝7aを透過した光の位相と、通常の透過領域Bを透過した光の位相との間に180度の位相差を生じさせるためである。例えば、露光の際に照射される光の波長λを、0.365μm(i線)とすると、位相シフト溝7aの深さdを、約0.39μmとすればよい。

なお、図示はしないが、マスク1bには、位相シフト溝7aを形成する際、金属層3との位置合わせをする等のための位置合わせマークが形成されている。

次に、このマスク1bの製造に用いられる集束イオンビーム装置8を第6図により説明する。

装置本体の上部に設けられたイオン源9の内部には、図示はしないが、例えば、ガリウム(Ga)等の溶融液体金属などが収容されている。イオン源9の下方には、引き出し電極10が設置されており、その下方には、静電レンズにより構成された第1レンズ電極11a、及び第1アパーチャ電極12aが設置されている。アパーチャ電極12aの下方には、第2レンズ電極11b、第2ア

パーチャ電極12b、ビーム照射のON、OFFを制御するブランキング電極13、さらに第3アパーチャ電極12c、及び偏向電極14が設置されている。

このような各電極の構成によって、イオン源9から放出されたイオンビームは、上記ブランキング電極13、及び偏向電極14によって制御され、保持器15に保持されるパターン形成前のマスク1bに照射されるようになっていく。

なお、イオンビームは、その走査の際に、例えば、0.02×0.02μmのピクセル単位毎に、ビーム照射時間を設定し、走査回数を予め設定することで、金属層3、または基板2をエッチング加工できる。

保持器15は、X、Y方向に移動可能な試料台16上に設置されており、試料台16は、傍部に設けられたレーザーミラー17を介してレーザー干渉測長器18によってその位置認識が行われ、試料台駆動モータ19によってその位置合わせが行われるようになっていく。

なお、保持器15の上方には、二次イオン・二次電子検出器20が設置されており、被加工物からの二次イオン、及び二次電子の発生を検出できるようにになっている。また、上記した二次イオン・二次電子検出器20の上方には、電子シャワー放射部21が設置されており、被加工物の帯電を防止できるようにになっている。

以上に説明した処理系内部は、図中、上記した試料台16の下方に示された真空ポンプ22によって真空状態が維持される構造となっている。

また、上記した各処理系は、装置本体の外部に設けられた各制御部23~27によってその作動が制御されており、各制御部23~27は、さらに各インターフェイス部28~32を介して制御コンピュータ33によって制御される構造となっている。制御コンピュータ33は、ターミナル34、データを記録する磁気ディスク装置35、及びMTデッキ36を備えている。

次に、マスク1bの製造方法を第5図(a)、(b)、及び第6図により説明する。

まず、第5図(a)に示すように、研磨、洗浄した基板2の主面に、例えば、500〜3000Åの金属層3をスパッタリング法などにより形成した後、マスク1bを集束イオンビーム装置8の保持器15に保持させる。

次いで、イオン源9からイオンビームを放出し、このイオンビームを上記各電極により、例えば、0.5μmのビーム径に集束すれば、1.5μA程度のイオンビーム電流が得られ、予めMTデッキ36の磁気テープに記録された集積回路パターンのパターンデータに基づいて金属層3の所定部分に集束されたイオンビームを照射し金属層3をエッチングする。この際、ピクセル当たりの照射時間は、例えば、 3×10^{-8} 秒、ビームの走査回数は、30回程度である。このようにして、第5図(b)に示すように、金属層3がパターン形成される。なお、金属層3のパターン形成は、実施例1のように電子線露光法などによっても良い。

その後、マスク1bに形成された図示しない位置合わせマークに所定量のイオンビームを照射し、

発生した二次電子を二次イオン・二次電子検出器20により検出して、その検出データにより位置合わせマークの位置座標を算出する。

そして、算出された位置合わせマークの位置座標をもとに、イオンビーム照射の際にイオンビームが位相シフト溝7aを形成する位置に照射されるように、試料台16を移動させる。

次いで、位相シフト溝7aのパターンデータに基づいて、金属層3の端部に沿って金属層3のパターン形成により露出した基板2にイオンビームを照射し、位相シフト溝7a(第4図)を形成する。この際、集束イオンビームによれば、位相シフト溝7aの深さ、幅などの制御を容易に行える。

本実施例2においては、上記した位相シフト溝7aのパターンデータは、例えば、集積回路パターンのパターンデータをボジネガ反転させ得られた透過領域Bのパターンデータと、遮光領域Aのパターン幅を太らせて得られたパターンデータとの論理積(AND)をとることによって自動的に作成されるようになっている。

すなわち、位相シフト溝7aのパターンデータは、特別に作成するのではなく、集積回路パターンのパターンデータに基づいて自動的に作成される。

このようにして製造されたマスク1bを用いて、ホトレジストが塗布されたウエハ上にマスク1b上の集積回路パターンを転写するには、例えば、次のようにする。

すなわち、図示しない縮小投影露光装置にマスク1b、及びウエハを配置して、マスク1b上の集積回路パターンを光学的に1/5に縮小してウエハ上に投影するとともに、ウエハを順次ステップ状に移動させるたびに繰り返し投影露光することによって、ウエハ全面に集積回路パターンの転写を行う。

次に、本実施例2のマスク1bの作用を第7図(a)〜(d)により説明する。

第7図(a)に示すマスク1b上の所定の集積回路パターンの原面を転写する露光工程の際、マスク1bの各々の透過領域Bにおいて、位相シフト溝

7aを透過した光と、通常の透過領域Bを透過した光との間には、180度の位相差が生じる(第7図(b)、(c))。

そして、位相シフト溝7aは、各金属層3の端部に配置されているため、一つの透過領域Bを透過した光のうち、位相シフト溝7aを透過した光と通常の透過領域Bを透過した光とが、透過領域Bに隣接する遮光領域A、Aとの境界部分において弱め合う。

したがって、ウエハ上の光強度分布のモジュレーションが大幅に改善される(第7図(d))。特に、ウエハ上に投影される各々の遮光領域Aの端部のぼけが大幅に低減され、ウエハ上に投影されるパターンの転写精度が大幅に向上する。

なお、光強度は、光の振幅の2乗となるため、ウエハ上における光振幅の負側の波形は、第7図(d)に示すように、正側に反転される。

また、本実施例2のマスク1bにおいても、実施例1と同じように、一つの透過領域Bを透過した光における位相差のみを考慮する技術であるた

め、マスク1b上に複雑な集積回路パターンが形成されていても、位相シフト溝7aの配置が容易であり、位相シフト溝7aのパターンデータを集積回路パターンを構成する透光領域A、または透過領域Bのパターンデータに基づいて自動的に作成することが可能となる。

しかも、本実施例2のマスク1bにおいては、その製造の際、実施例1で説明した位相をシフトさせる透明膜4aを形成する工程がない上、集束イオンビームによって金属層3をパターンニングする際、併せて位相シフト溝7aも形成してしまうため、その製造時間をさらに短縮させることができる。

このように実施例2によれば以下の効果を得ることができる。

(1). マスク1bの各々の透過領域Bにおいて、位相シフト溝7aを透過した光と、通常の透過領域Bを透過した光との間に180度の位相差が生じ、これら光が透光領域Aと透過領域Bとの境界部分において弱め合うため、ウエハ上の光強度分布の

例1で説明した位相をシフトさせる透明膜4aを形成する工程がない上、集束イオンビームによって金属層3をパターンニングする際、併せて位相シフト溝7aも形成してしまうため、その製造時間をさらに短縮させることができる。

(6). マスク1bにおいては、透明膜4aがパターン形成後の洗浄工程などにより劣化しないため、その寿命を大幅に向上させることができる。

〔実施例3〕

第8図は本発明のさらに他の実施例であるマスクの要部断面図、第9図はこのマスクの要部平面図、第10図(a)は第8図、及び第9図のマスクの露光状態を示す断面図、第10図(b)~(d)はこのマスクの透過領域を透過した光の振幅、及び強度を示す説明図である。

まず、第8図、及び第9図により本実施例3のマスク1cを説明する。なお、本実施例3においては、第9図に示すように透過領域Bの形状を矩形形状として説明する。

本実施例3のマスク1cは、例えば、半導体装

モジュレーションが大幅に改善される。特に、ウエハ上に投影される透光領域Aのパターン像の端部のぼけが大幅に低減され、パターン転写精度を大幅に向上させることができる。

(2). 上記(1)により、マスク上に形成されたパターンが、微細、かつ複雑な集積回路パターンであっても、部分的にパターン像の転写精度が低下することがなく、パターン全ての転写精度を向上させることができる。

(3). 位相シフト溝7aは、一つの透過領域Bを透過した光の位相差のみを考慮する技術であるため、複雑な集積回路パターンであっても、その配置が容易である。

(4). 上記(3)により、位相シフト溝7aのパターンデータを集積回路パターンを構成する透光領域A、または透過領域Bのパターンデータに基づいて自動的に作成することができるため、その作成が容易であり、マスク1bを短時間で製造することができる。

(5). マスク1bにおいては、その製造の際、実施

置の所定の製造工程において図示しないウエハ上に所定の集積回路パターンを転写する5倍レチクルであり、透光領域Aを構成する金属層3には、この金属層3の上面から基板2の主面に達する複数の溝37が設けられている。

そして、溝37は、第9図に示すように、矩形形状の透過領域B、Bを囲むように、透過領域Bの各辺に沿って平行に配置されている。なお、例えば、溝37の幅は、0.5μm程である。

さらに、溝37の上部には、例えば、屈折率が1.5の酸化インジウム(In₂O₃)からなる透明膜4bが設けられており、露光の際に、この透明膜4b、及び溝37を透過した光と、透過領域Bを透過した光との間に位相差が生じる構造となっている。

そして、透明膜4bの基板2の主面からの厚さX₁は、実施例1と同じく、露光の際、マスク1cに照射された光のうち、透明膜4b、及び溝37を透過した光の位相と、透過領域Bを透過した光の位相との間に180度の位相差を生じさせる

ため、 $X_2 = \lambda / (2(n-1))$ の関係を満たすように形成されている。例えば、露光の際に照射される光の波長 λ を、 $0.365\mu\text{m}$ (i線) とすると、透明膜4bの基板2の主面からの厚さ X_2 を、約 $0.37\mu\text{m}$ とすればよい。

なお、図示はしないが、マスク1cには、例えば、溝37や透明膜4bを形成する際、それらと金属層3との位置合わせをするための位置合わせマークが形成されている。

このようなマスク1dを製造するには、例えば、次のようにする。

まず、研磨、洗浄した基板2の主面を覆うように、例えば、 $500\sim 3000\text{\AA}$ の金属層3をスパッタリング法などにより形成した後、これを実施例2で説明した集束イオンビーム装置8の保持器15に保持させる。

次いで、予めMTデッキ36の磁気テープに記録されている集積回路パターンデータに基づいて、基板2の主面を覆う金属層3をイオンビームによりパターン形成する。

その後、同じくMTデッキ36の磁気テープに予め記録されている溝37のパターンデータに基づいて、基板2の主面上の金属層3にイオンビームを照射し、金属層3に溝37を形成する。この溝37のパターンデータは、例えば、矩形形状の透過領域Bに対する溝37の配置規則を設定しておくことで、自動的に作成されるようになっている。

そして、集積回路パターンパターンデータと溝37のパターンデータとに基づいて作成された透明膜4bのパターンデータに基づいて、実施例1と同様にして透明膜4bを形成する。

次に本実施例3の作用を第10図(a)～(d)により説明する。

第10図(a)に示すマスク1c上の所定の集積回路パターンの原面を縮小露光法などによりウェハ上に転写する際、マスク1cの各々の透過領域Bにおいて、透明膜4b、及び溝37を透過した光と、透過領域Bを透過した光との間には、 180 度の位相差が生じる(第10図(b), (c))。

そして、一つの透過領域Bを透過した光のうち、

透明膜4b、及び溝37を透過した光と、透過領域Bを透過した光とが、透過領域Bに隣接する遮光領域A、Aの端部において弱め合う。

したがって、ウェハ上の光強度分布のモジュレーションが大幅に改善される(第10図(d))。特に、ウェハ上に投影される各々の遮光領域Aの端部のぼけが大幅に低減され、ウェハ上に投影されるパターンの転写精度が大幅に向上する。

なお、光強度は、光の振幅の2乗となるため、ウェハ上における光振幅の負側の波形は、第10図(d)に示すように、正側に反転される。

また、本実施例3のマスク1cにおいても、一つの透過領域Bを透過した光における位相差のみを考慮すれば良いため、溝37、及び透明膜4bの配置が容易であり、溝37、及び透明膜4bのパターンデータを、集積回路パターンを構成する矩形形状の透過領域Bのパターンデータに基づいて自動的に作成することができる。

このように本実施例によれば以下の効果を得ることができる。

- (1). マスク1cの各々の透過領域Bにおいて、透明膜4b、及び溝37を透過した光と、透過領域Bを透過した光との間に 180 度の位相差が生じ、これら光が遮光領域Aの端部において弱め合うため、ウェハ上の光強度分布のモジュレーションが大幅に改善される。特に、ウェハ上に投影される遮光領域Aのパターン像の端部のぼけが大幅に低減され、パターン転写精度を大幅に向上させることができる。
- (2). 上記(1)により、マスク上に形成されたパターンが、微細、かつ複雑な集積回路パターンであっても、部分的にパターン転写精度が低下することがなく、そのパターン全ての転写精度を向上させることができる。
- (3). 位相をシフトさせる透明膜4b、及び溝37は、一つの透過領域Bを透過した光の位相差のみを考慮する技術であるため、複雑な集積回路パターンであっても、その配置が容易となる。
- (4). 上記(3)により、溝37、及び透明膜4bのパターンデータを、集積回路パターンを構成する遮

光領域A、または透過領域Bのパターンデータに基づいて自動的に作成させることができる。

(5)、上記(3)、(4)により、透明膜4aのパターンデータを短時間で作成することができるため、位相をシフトさせる透明膜4b、溝37の形成されたマスク1aを短時間で製造することができる。

〔実施例4〕

第11図は本発明のさらに他の実施例を示すマスクの要部断面図、第12図はこのマスクの要部平面図、第13図(a)は第11図、及び第12図のマスクの露光状態を示す断面図、第13図(b)~(d)は透過領域を透過した光の振幅、及び強度を示す説明図である。

まず、第11図、及び第12図により本実施例4のマスク1dを説明する。

本実施例4のマスク1dにおいては、露光の際、溝37を透過した光と透過領域Bを透過した光との間に位相差を生じさせる手段として、実施例3の透明膜4bに代えて、溝37の下部の基板2に位相シフト溝7bを形成している。

させ投影されるパターン像を補正している。

なお、図示はしないが、マスク1cには、例えば、溝37やサブ透過領域Cを形成する際、それらと金属層3との位置合わせをするための位置合わせマークが形成されている。

また、このようなマスク1dを製造するには、イオンビームにより金属層3をエッチングして溝37を形成する際、イオンビームの走査回数を増やし、基板2を深さdだけエッチングしてやれば良い。

次に、本実施例4の作用を第13図(a)~(d)により説明する。

第13図(a)に示すマスク1d上の所定の集積回路パターン原画を縮小露光法などによりウエハ上に転写する際、マスク1cの各々の透過領域Bにおいて、溝37、及び位相シフト溝7bを透過した光と、透過領域Bを透過した光との間には、180度の位相差が生じる(第13図(b)、(c))。

そして、一つの透過領域Bを透過した光のうち、溝37、及び位相シフト溝7bを透過した光と、

位相シフト溝7bの深さdは、実施例2と同じく、露光の際、マスク1bに照射された光のうち、溝37、及び位相シフト溝7bを透過した光の位相と、透過領域Bを透過した光の位相との間に180度の位相差を生じさせるため、 $d = \lambda / (2(n-1))$ の関係を満たすように形成されている。例えば、光の波長 λ を、 $0.365\mu\text{m}$ (i線)とすると、位相シフト溝7bの深さdを、約 $0.39\mu\text{m}$ とすればよい。

さらに、本実施例4においては、第12図に示すように、矩形状の透過領域Bの四隅に、例えば、 $0.5 \times 0.5\mu\text{m}$ の矩形状の微小のサブ透過領域Cを設けている。これは、集積回路パターンの微細化につれ、現像後にウエハ上に形成されるパターンラインの四隅などが、マスク上の集積回路パターンの原画と異なり直角にならず丸みを帯びてしまうといった不具合を防止するためである。すなわち、集積回路パターンにおいて、最も光強度が低下し易く、歪みが大きくなってしまいう角部に、サブ透過領域Cを設け、角部付近の光強度を増加

透過領域Bを透過した光とが、透過領域Bに隣接する遮光領域A、Aの端部において弱め合う。

したがって、ウエハ上の光強度分布のモジュレーションが大幅に改善される(第13図(d))。特に、ウエハ上に投影される各々の遮光領域Aの端部のぼけが大幅に低減される上、矩形状の透過領域Bの角部に形成されたサブ透過領域Cにより角部付近の光強度が増加されるため、ウエハ上に投影されるパターン像の転写精度がさらに向上する。

なお、光強度は、光の振幅の2乗となるため、ウエハ上における光振幅の負側の波形は、第13図(d)に示すように、正側に反転される。

また、本実施例4のマスク1dにおいても、一つの透過領域Bを透過した光における位相差のみを考慮すれば良いため、溝37の配置が容易であり、溝37のパターンデータを、集積回路パターンを構成する矩形状の透過領域Bのパターンに対して、溝37の配置規則を設定しておくことにより、自動的に作成することが可能である。

本実施例4においては、実施例3の(1)~(5)で示

した効果の他に、マスク1dの製造の際、実施例3で説明した位相をシフトさせる透明膜4bを形成する工程がない上、集束イオンビームによって金属層3をパターンニングする際、併せて位相シフト溝7bも形成できるため、その製造時間をさらに短縮させることができる。

そして、マスク1dにおいては、実施例3におけるマスク1cの透明膜4bの形成後の洗浄工程などによる劣化がないため、マスク1dの寿命を大幅に向上させることができる。

以上、本発明者によってなされた発明を実施例に基づき具体的に説明したが、本発明は前記実施例に限定されるものではなく、その要旨を逸脱しない範囲で種々変更可能であることはいうまでもない。

例えば、実施例1のマスクにおいては、位相をシフトさせる透明膜を金属層の輪郭部から透過領域に一部はみ出すように配置させた場合について説明したが、これに限定されるものではなく、例えば、第14図に示すマスク1eのように、透過

領域Bの中央付近に透明膜4cを配置しても良い。

この場合においても、第16図(a)~(d)で示すように、マスク1e(第16図(a))の各々の透過領域B、Bにおいて、透明膜4aを透過した光と、通常の透過領域Bを透過した光との間には180度の位相差が生じ(第16図(b),(c))、一つの透過領域Bを透過した光のうち、透明膜4cを透過した光と通常の透過領域Bを透過した光とが、透過領域Bと隣接する遮光領域A、Aとの境界部分において弱め合うため、ウェハ上の光強度分布のモジュレーション(modulation)が大幅に改善される(第16図(d))。

そして、この場合の透明膜4cのパターンデータは、例えば、集積回路パターンのパターンデータをボジネガ反転させて得られた遮光領域のパターンを細らせることにより作成すれば良い。

また、実施例2のマスクにおいては、位相シフト溝を金属層の端部に沿って配置した場合について説明したが、これに限定されるものではなく、例えば、第15図に示すマスク1fのように、透

過領域Bの中央付近に位相シフト溝7cを形成、配置しても良い。この場合も、第16図(a)~(d)で示した作用と同じ作用が得られる。

また、例えば、メモリセルのように集積回路パターンが単純に配置されるような部分においては、第17図に示すマスク1gのように遮光領域Aを挟む一対の透過領域B、Bの少なくとも一方に位相シフト溝7dを形成しても良い。

これは、光の位相をシフトさせる意味においては、従来の一対の透過領域の一方に透明膜を設ける技術と同じであるが、透明材料を設けないため、その製造時間を大幅に短縮させることができる上、透明材料の形成後の洗浄などによる劣化がないため、マスクの寿命を大幅に向上させることができる効果がある。

また、実施例3、4においては、透過領域を矩形状とした場合について説明したが、これに限定されるものではなく、複雑な形状であってもそれに対応することができる。

また、実施例1、3において、透明膜を酸化イ

ンジウムとした場合について説明したが、これに限定されるものではなく、フッ化マグネシウム、ポリメチルメタクリレートなどでも良い。

以上の説明では主として本発明者によってなされた発明をその背景となった利用分野である半導体装置の製造工程に用いられるマスクに適用した場合について説明したが、これに限定されず種々適用可能であり、ホトリソグラフィ技術により、所定の基板上に微細、かつ複雑なパターンを転写させることを必要とする技術分野に適用可能である。

〔発明の効果〕

本願において開示される発明のうち、代表的なものによって得られる効果を簡単に説明すれば、下記のとおりである。

すなわち、上記した請求項1、3、6または7記載の手段によれば、露光の際、一つの透過領域内において、透明膜、あるいは位相シフト溝を透過した光と、これらが形成されていない部分を透過した光とが、透過領域と遮光領域との境界部分、

または遮光領域の端部において弱め合うように干渉させることによりマスク上のパターンの転写精度を向上させるため、すなわち、個々の透過領域を透過した光のなかで位相差を生じさせ、パターン転写精度を向上させるため、マスクに形成されたパターンが複雑であっても、それに対応して透明膜、あるいは位相シフト溝を形成することができる。

このため、マスク上のパターンが複雑であっても、そのパターン全ての転写精度を向上させることができる。

また、位相をシフトさせる手段である透明膜、または位相シフト溝を容易に配置することができる。

請求項2または4記載の発明によれば、透明膜、または位相シフト溝のパターンデータを特別に作成する必要がないため、位相をシフトさせる透明膜、または位相シフト溝を備えるマスクの製造時間を大幅に短縮させることができる。

請求項5記載の発明によれば、位相シフト溝を

短時間で形成できるため、さらに、位相シフト溝の形成されたマスクの製造時間を短縮させることができる。

請求項8記載の発明によれば、一つの透過領域において、位相シフト溝を透過した光と、通常の透過領域を透過した光との間に、180度の位相差を生じさせることができ、これら光の干渉光が最も弱め合うようにすることができる。

4. 図面の簡単な説明

第1図は本発明の一実施例であるマスクの要部断面図、

第2図(a)~(c)はこのマスクの製造工程を示すマスクの要部断面図、

第3図(a)は第1図のマスクの露光状態を示す断面図、

第3図(b)~(d)はこのマスクの透過領域を透過した光の振幅、及び強度を示す説明図、

第4図は本発明の他の実施例であるマスクの要部断面図、

第5図(a)、(b)はこのマスクの製造工程を示すマ

スクの要部断面図、

第6図はこのマスクを製造する際に用いられる集束イオンビーム装置の構成図、

第7図(a)は第4図のマスクの露光状態を示す断面図、

第7図(b)~(d)はこのマスクの透過領域を透過した光の振幅、及び強度を示す説明図、

第8図は本発明のさらに他の実施例であるマスクの要部断面図、

第9図はこのマスクの要部平面図、

第10図(a)は第8図、及び第9図のマスクの露光状態を示す断面図、

第10図(b)~(d)はこのマスクの透過領域を透過した光の振幅、及び強度を示す説明図、

第11図は本発明のさらに他の実施例を示すマスクの要部断面図、

第12図はこのマスクの要部平面図、

第13図(a)は第11図、及び第12図のマスクの断面図、

第13図(b)~(d)はこのマスクの透過領域を透過

した光の振幅、及び強度を示す説明図、

第14図は本発明のさらに他の実施例であるマスクの要部断面図、

第15図は本発明のさらに他の実施例であるマスクの要部断面図、

第16図(a)は第14図のマスクの露光状態を示す断面図、

第16図(b)~(d)は第14図で示したマスクの透過領域を透過した光の振幅、及び強度を示す説明図、

第17図は本発明のさらに他の実施例であるマスクの要部断面図、

第18図(a)は従来のマスクの露光状態を示す断面図、

第18図(b)~(d)は従来のマスクの透過領域を透過した光の振幅、及び強度を示す説明図、

第19図(a)は従来のマスクの露光状態を示す断面図、

第19図(b)~(d)は従来のマスクの透過領域を透過した光の振幅、及び強度を示す説明図、

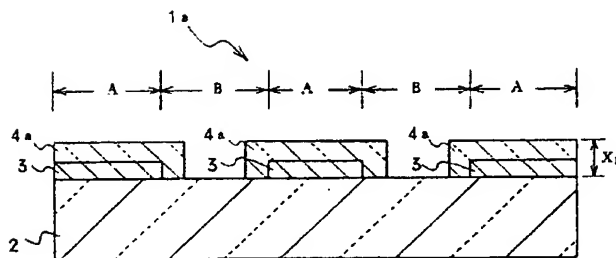
第20図は従来のマスクを示す部分平面図である。

1a～1f・・・マスク、2・・・マスク基板、3・・・金属層、4a～4c・・・透明膜、5a、5b・・・ホトレジスト、6・・・帯電防止層、7a～7d・・・位相シフト溝、8・・・集束イオンビーム装置、9・・・イオン源、10・・・引き出し電極、11a、11b・・・第1、第2レンズ電極、12a～12c・・・第1～第3アパーチャ電極、13・・・ブランキング電極、14・・・偏向電極、15・・・保持器、16・・・試料台、17・・・レーザーミラー、18・・・レーザー干渉測長器、19・・・試料台駆動モータ、20・・・二次イオン・二次電子検出器、21・・・電子シャワー放射部、22・・・真空ポンプ、23～27・・・制御部、28～32・・・インターフェイス部、33・・・制御コンピュータ、34・・・ターミナル、35・・・磁気ディスク装置、36・・・MTデッキ、37・・・溝、A・・・遮光領域、B・・・透過領域、C

・・・サブ透過領域、E・・・電子線、50、51・・・従来のマスク、52・・・透明材料、53・・・集積回路パターン、P～P₁・・・従来のマスクにおける透過領域、N～N₁・・・従来のマスクにおける遮光領域。

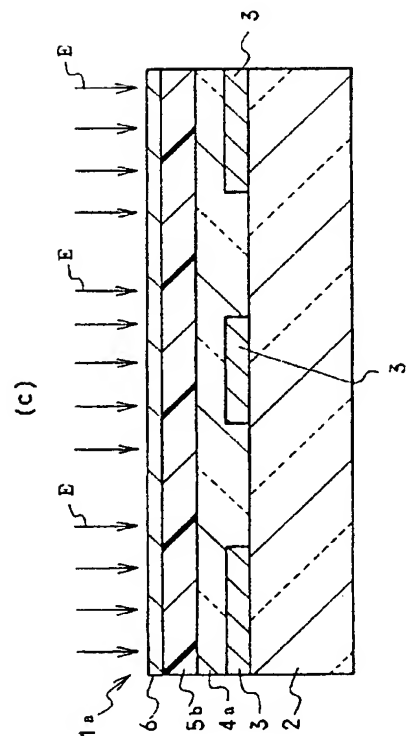
代理人 弁理士 筒井大和

第1図

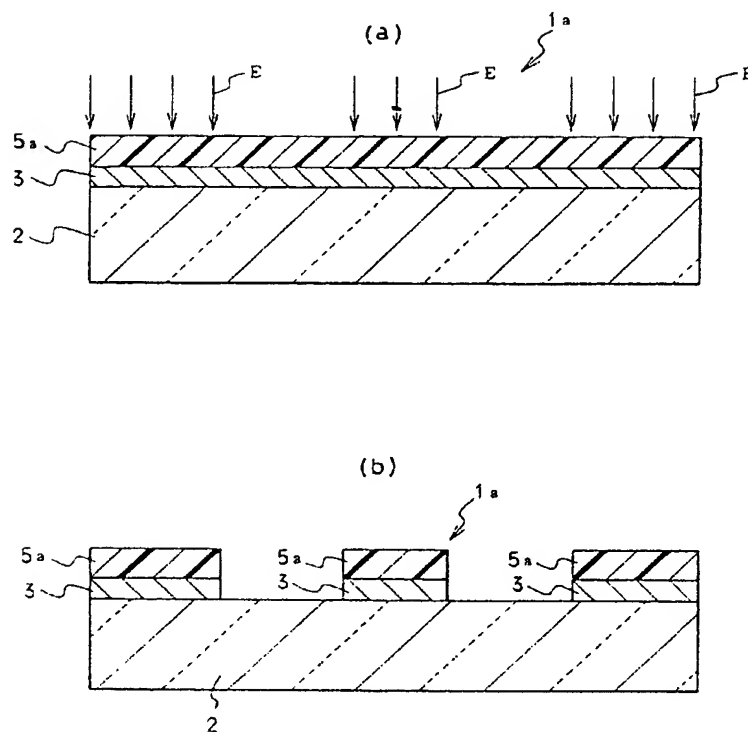


1a: マスク
4a: 透明膜
A: 遮光領域
B: 透過領域

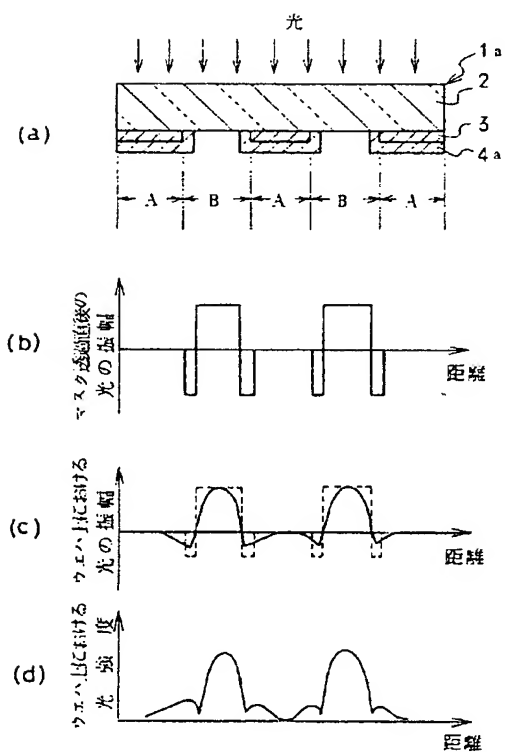
第2図



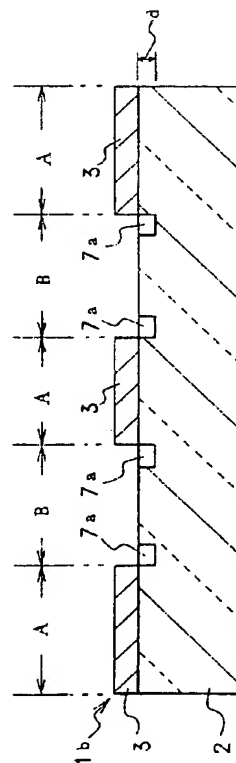
第 2 図



第 3 図

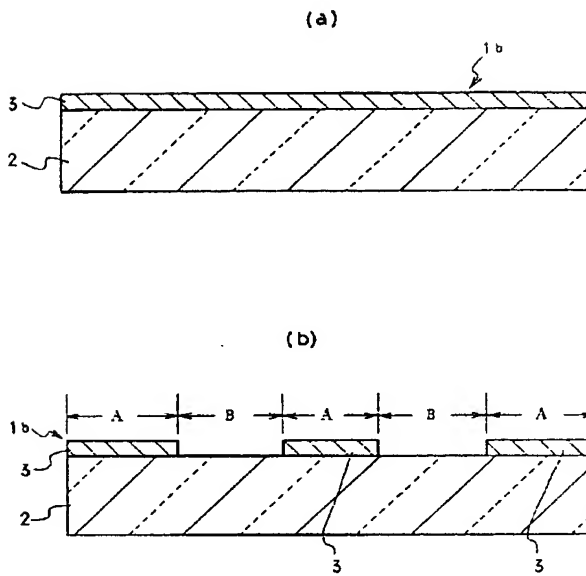


第 4 図

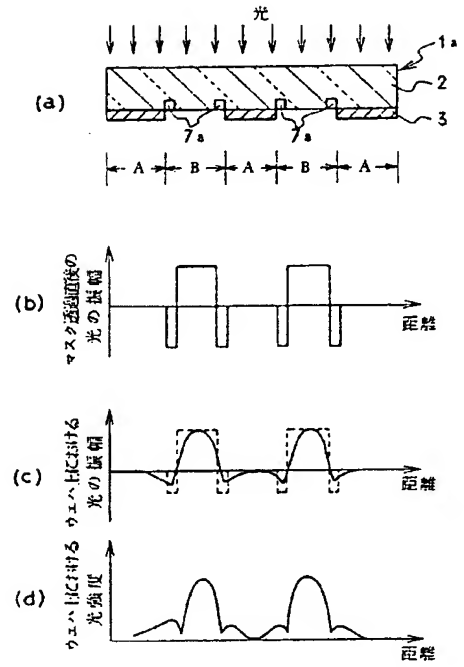


1b : マスク
7a : 位相シフト溝

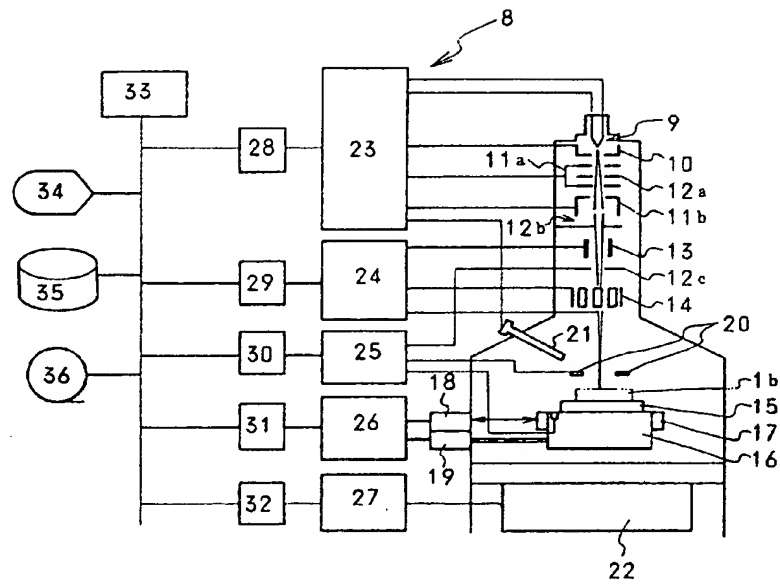
第 5 図



第 7 図

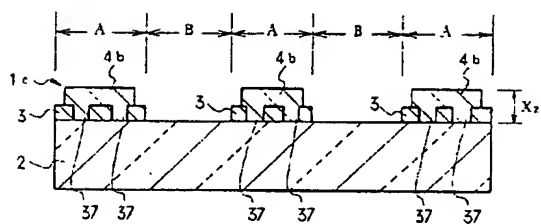


第 6 図

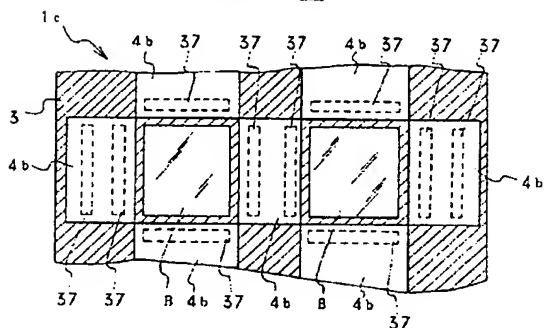


8 : 集束イオンビーム装置

第 8 図

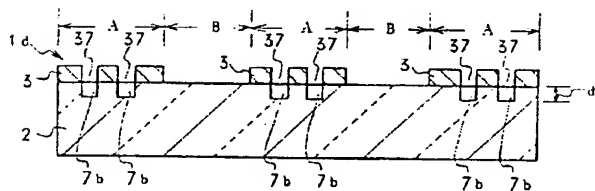


第 9 図

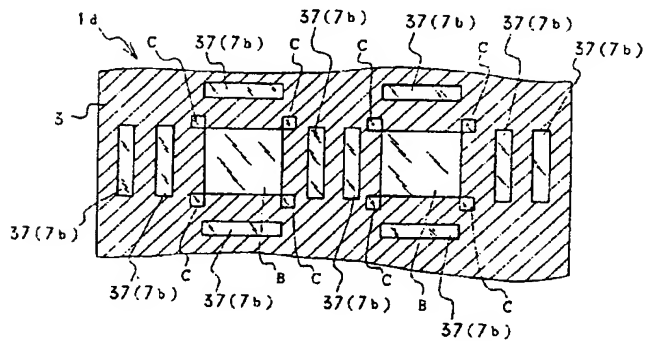


1c : マスク
4b : 透明膜
37 : 溝

第 11 図

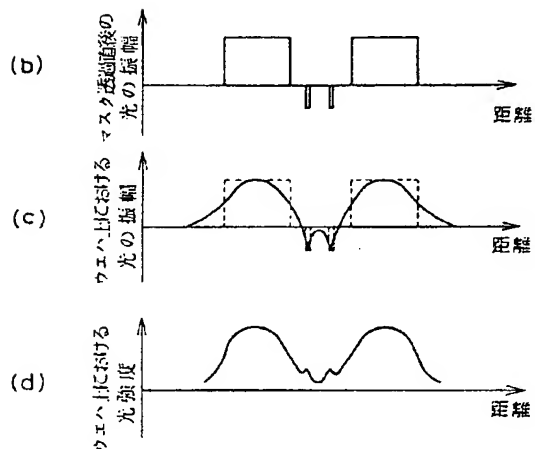
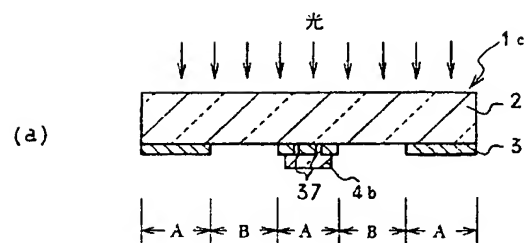


第 12 図

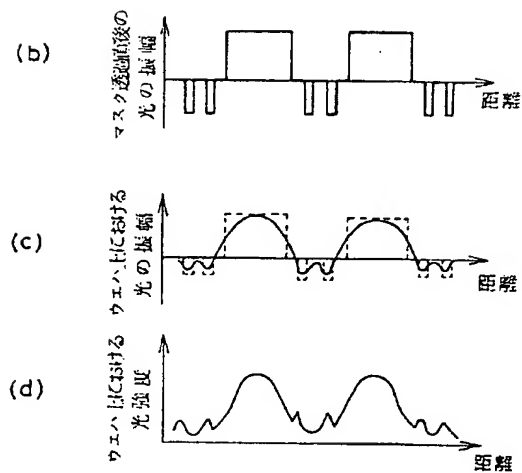
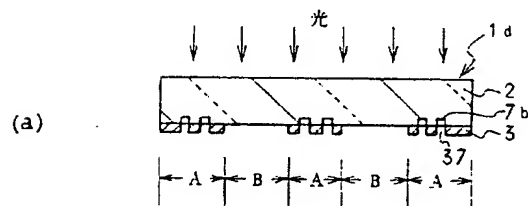


1d : マスク
7b : 位相シフト溝
37 : 溝

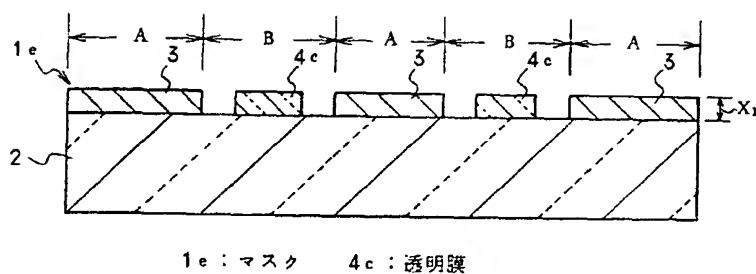
第 10 図



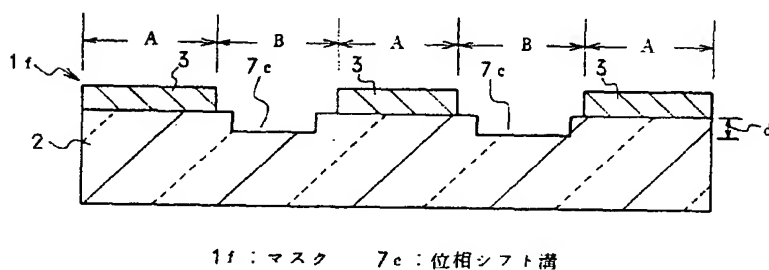
第 13 図



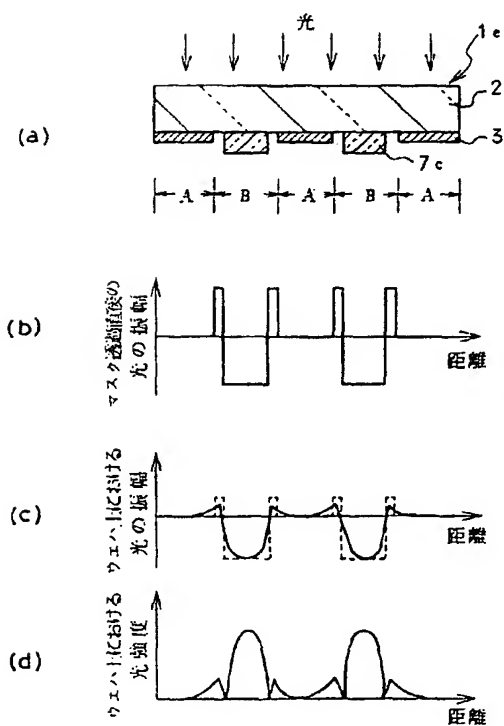
第 14 図



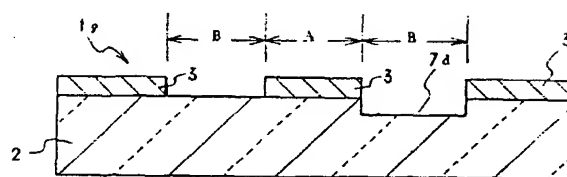
第 15 図



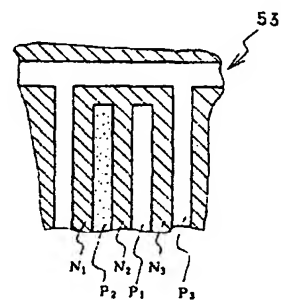
第 16 図



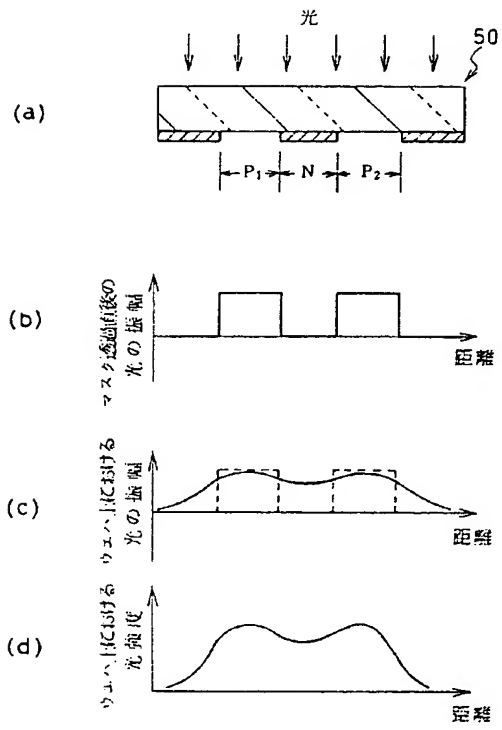
第 17 図



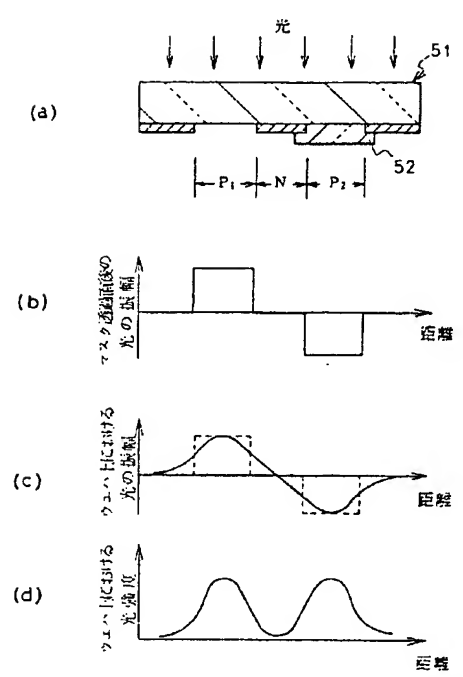
第 20 図



第 18 図



第 19 図



JAPANESE PATENT OFFICE

Japanese Patent Application Publication: 2-140743 (1990)

Publication Date: May 30, 1990

Examination: Not Requested

Number of Claims: 8

(Total of 19 pages)

International Class3
G 03 F 1/08
H 01 L 21/027

Japanese Class. No.
A

Intrabureau No.
7428-2H
7328-5F

A Mask and a New Method of Manufacturing

Application Number: 63-295350 (1989)

Date of Application: November 22, 1988

Inventors: Yoshihiko Okamoto
c/o Hitachi, Ltd.
Device Development Center
Tokyo-to, Omeshi, Imai
2326-banchi

Applicant: Hitachi, Ltd.
Tokyo-to, Chiyoda-ku
Kanda, Surugadai
4-chome, 6-banchi

Patent
Attorney: Yamato Tsutsui

SPECIFICATIONS:

1. TITLE OF THE PATENT:

A Mask and a New Method of Manufacturing

2. PATENT CLAIMS:

1. A mask and its method of manufacturing, characterized in that the mask transfers a specific pattern with at least partially coherent light irradiation, provided with a transmission area and a shaded area; in that in one part of said transmission area, a transparent film is formed and a phase difference is generated in the area between the rays which passed through said transparent film and the rays that passed through transmission area where said transparent film is not formed; and in that the mask with said transparent film is thus formed by weakening interfering rays of said rays in the boundary between said transmission area and shaded area.
2. The mask and its method of manufacturing of claim 1, wherein the mask of claim 1 is manufactured by either enlarging or reducing the pattern of said shaded area or transmission area, representing the method of manufacturing the mask creating pattern data of said transparent film.
3. A mask and its method of manufacturing, characterized by a specific pattern being transferred by irradiation with a light that is at least partially coherent, which is provided with a shaded area and with a transmission area, wherein a phase shift channel is created at least in one part of said transmission area, and a phase difference is generated in the area between the rays that were transmitted through said shift channel and the rays that were transmitted through the transmission area where said phase shift channel is not created; the mask then being created with said phase shift channel so as to weaken said interfering rays in the area of the boundary between said transmission area and shaded area.
4. The mask and its method of manufacturing of claim 3, wherein the method of manufacturing of the mask and creating the pattern data of said phase shift channel uses a logical calculation of the pattern data of said shaded area or said transmission area, and the pattern data that is obtained by enlarging or reducing said shaded area and said transmission area.
5. The mask and its method of manufacturing of claim 3, wherein the mask and its method of manufacturing is characterized by using focusing ion beams to create said phase shift channel.
6. A mask and its method of manufacturing, characterized in that the mask is provided with a substrate containing a shaded area and a transmission area; in that a specific pattern is transferred with irradiation with at least partially coherent light, wherein a channel is created on the main surface of said mask substrate in one part of said shaded area, while at the same time a phase difference is generated in the area between the rays that were transmitted through said channel and the rays that were transmitted through said

transmission area; and in that in addition, a transparent film is created in the upper part of said film so as to weaken interfering rays of said rays at the end of said shaded area.

7. The mask and its method of manufacturing of claim 6, wherein instead of the means that is used to create transparent film in the upper part of the channel, the mask has a phase shift channel on said mask substrate in the lower part of said channel.
8. The mask and its method of manufacturing of claim 7, wherein the relationship between the depth (d) of the phase shift channel, and the refraction ratio (n) of the material that is created by said phase shift phase channel, forming wavelength λ of the irradiating rays, and the depth (d) of the phase shift channel, should correspond to:

$$d = \lambda / [2 (n - 1)].$$

3. DETAILED DESCRIPTION OF THE INVENTIONS

Field of Industrial Application

This invention relates to a mask that is used in photolithography, and to its method of production. In particular, it relates to a technique that is suitable for masks that are used when manufacturing semiconductors.

Prior Art

In recent years, the circuits of integrated circuits in semiconductors have been characterized by miniaturization of elements and of wiring that form these circuits, as well as by increasingly narrower spacing between the elements and between the wirings.

However, the problem caused by this miniaturization of elements, wiring and narrow spacing between these elements, is the deterioration of the transfer density of the pattern of the mask, transferred to a pattern of integrated circuits on a wafer by illuminating it with at least partially coherent light.

As shown in Figure 18 (a) - (b), this problem can be explained as follows.

Specifically, when transferring a pattern, (not shown in the figure), of a specific pattern of integrated circuits to a mask (50) with projection exposure or a similar method, as shown in Figure 18(a), the phase of the light, transmitted through a pair of transmission areas P_1 and P_2 , inserted in the shaded area (N), is the same as the phase shown in Figure 18(b), which is why the interfering rays, shown in Figure 18(c), are in the end intensified in the shaded area (N), inserted between the pair of transmission areas P_1 and P_2 .

That is why the modulation of the distribution of the light intensity will in the end deteriorate, as shown in Figure 18(d), and the final density of the pattern of the mask will be greatly reduced.

One means that has been proposed to alleviate this problem is for example a phase changing mask, creating a phase difference between the transmitted rays in respective two areas of transmission.

As far as phase changing masks are concerned, the technique was explained for instance in Japanese Patent Application number 62-595296. According to the explanation of this patent application, the mask is provided with a shaded area and a transmission area, so that transparent material is provided at least on one side of a pair of transmission areas, between which are inserted shaded areas. During exposure, a phase is generated in the area between the rays that are transmitted in each area of transmission, and the mask is created so that these rays would not intensify the interference by these rays in the area that is substantially shaded on the surface of the wafer.

The operation of the transmission of light in a similar mask, shown in Figure 9(a) - b), can be explained as follows:

Specifically, when transferring a specific pattern of integrated circuits, (not shown in the figure), using projection exposure or a similar method, as shown in Figure 19(a), the difference between the phase of the rays that were transmitted through the transmission area P_2 , with transparent material (52), created between a pair of transmission areas P_1 and P_2 , with an inserted shaded area (N), and the phase of the rays transmitted through the usual area of transmission P_1 is 180° , as shown in Figure 19(b) and (c).

Consequently, the interference to rays that were transmitted through the pair of areas of transmission P_1 and P_2 is negated in the area of transmission (N), inserted between transmission areas P_1 and P_2 , as shown in Figure 19(d), and since this improves the modulation of the distribution of the light intensity on the wafer, the pattern transfer density of the mask (51) is excellent.

Problems To Be Solved by This Invention

Incidentally, in case of prior art techniques of generating a phase difference between rays transmitted through a pair of transmission areas, when the pattern consists of one dimensional simple repeating arrangements, there is no problem with the arrangement of the transparent material. However, when the real pattern of integrated circuits is in the form of bi-dimensional arrangements, the following problems were noticed by the authors of this invention.

Specifically, according to prior art techniques, in order to generate the phase difference in the area between rays that were transmitted through each of the pair of the transmission areas, the transparent material can be arranged for instance so that when the transparent material is arranged on one side of the pair of the transmission areas, it is not possible to arrange transparent material on the other side, so that when forms of multiple patterns, such as those of real integrated circuits, are created, the resulting pattern lacks satisfactory resolution. To give an example, as shown in Figure 20, when the integrated pattern (53) is created by transparent material with a transmission area P_2 , the resolution of the shaded areas N_1 and N_2 will be improved, but since it is impossible to mount transparent material in the transmission areas P_1 and P_3 , improvement of the resolution of the shaded area N_3 can not be expected.

Therefore, to arrange transparent material on the substrate of the mask, creating the pattern of multiple integrated circuits, one has to keep in mind restrictions regarding arrangement of the transparent material, noted above, which means that necessary planning of specific design patterns of transparent materials and designing of these patterns is extremely complicated.

Consequently, the result of all this, is that manufacturing of a mask with transparent material mounted on it, is very time consuming.

In view of the problems noted above, the intent of this invention is to present a technique permitting the improvement of the overall transfer precision of fine and complex patterns forming a mask.

Another purpose of this invention is to offer a technique providing a simple means of phase shifting even when fine patterns are used.

Still another purpose of this invention is provide a technique permitting to shorten the time required to manufacture a mask provided with the means to achieve a phase shift.

Above noted and other purposes of this invention, as well as its innovative characteristics, will become clear from an explanation of its specifications, which is based on the enclosed figures.

Means to Solve the Problems

The following is a simple explanation of the gist of a representative model of this invention.

Specifically, as defined in claim 1, this invention concerns a mask that transfers a specific pattern with at least partially coherent light irradiation, provided with a transmission area and a shaded area. In one part of said transmission area, a transparent film is formed and a phase difference is generated in the area between the rays which passed through said transparent film and the rays that passed through transmission area, where said transparent film is not formed. The mask with said transparent film is thus formed by weakening interfering rays of said rays in the boundary between said transmission area and shaded area.

As defined in claim 2 of this invention, the mask of claim 1 is manufactured by either enlarging or reducing the pattern of said shaded area or transmission area, which represents the method of manufacturing the mask creating pattern data of said transparent film.

As defined in claim 3 of this invention, it represents a mask transferring a specific pattern by irradiation with a light that is at least partially coherent, provided with a shaded area and with a transmission area. A phase shift channel is created at least in one part of said transmission area, and a phase difference is generated in the area between the rays that were transmitted through said shift channel and the rays that were transmitted through the transmission area where said phase shift channel is not created. The mask is then created with said phase shift channel so as to weaken said interfering rays in the area of the boundary between said transmission area and shaded area.

As defined in claim 4, defining the mask and the method of its manufacturing according to this invention, when said mask is manufactured according to claim 3, the method of manufacturing of the mask and creating the pattern data of said phase shift channel uses a logical calculation of the pattern data of said shaded area or said transmission area, and the pattern data that is obtained by enlarging or reducing said shaded area and said transmission area.

As defined in claim 5, the mask and its method of manufacturing explained in claim 3 is characterized by using focusing ion beams to create said phase shift channel.

As defined in claim 6, the mask is provided with a mask substrate containing a shaded area and a transmission area, and it transfers a specific pattern with irradiation with at least partially coherent light. A channel is created on the main surface of said mask substrate in one part of said shaded area, while at the same time a phase difference is generated in the area between the rays that were transmitted through said channel and the rays that were transmitted through said transmission area. In addition, a transparent film is created in the upper part of said film so as to weaken interfering rays of said rays at the end of said shaded area.

As defined in claim 7, instead of the means that is used to create transparent film in the upper part of the channel according to the explanation of claim 6, the mask has a phase shift channel on said mask substrate in the lower part of said channel.

As defined in claim 8, the relationship between the depth (d) of the phase shift channel, and the refractive index (n) of the material that is created by said phase shift phase channel, forming wavelength λ of the irradiating rays, and the depth (d) of the phase shift channel, should correspond to:

$$d = \lambda / [2 (n - 1)].$$

Operation

According to the means described above in claims 1, 3, 6, and 7, the rays that are transmitted during the exposure through the transparent film in one of the transmission areas, or through the phase shift channel, and the rays that are transmitted through the part in which no such formations are created, are used to weaken the interference at the end of the shaded area and in the boundary between the shaded area and the transmission area. This is why the precision of the transfer of the pattern on the mask is improved. In other words, when a phase difference is generated in the rays that were transmitted in several areas of transmission, the precision of the transfer of the pattern is improved, which is why it is possible to create a transparent film, corresponding to this complex pattern, or a phase shift channel, even when a complex pattern is created on the mask. That is why it is possible to improve the overall transfer resolution of this pattern, even if the pattern on the mask is a complex one.

In addition, the arrangement of the transparent film or of the phase shift channel is simple.

As defined in claim 2 and claim 4 of this invention, it is not particularly necessary to create transparent film or phase shift channel pattern data. Therefore, it is possible to reduce considerably the manufacturing time for production of a mask that is provided with a phase shifting transparent film or with a phase shift channel.

As defined in claim 5 of this invention, it is also possible to form the phase shift channel in a short period of time.

As defined in claim 8 of this invention, it is further also possible to generate a phase difference of 180° in the area between the rays transmitted through the usual area of transmission and the rays transmitted through the position shift channel in one of the areas of transmission.

Application Example 1

Figure 1 is a cross-sectional view of the main part of the mask of an application example of this invention; Figures 2(a) through (c) are cross-sectional views of the main part of the mask, showing the process of manufacturing the mask; Figure 3(a) is a cross-sectional view showing the exposed state of the mask shown in Figure 1, and Figures 3(b) through (d) are explanatory diagrams showing the intensity and the amplitude of the rays transmitted through the transmission areas of the mask.

The mask (1a), shown in Figure 1, which can be made for instance by a manufacturing process for production of specific semiconductors, is a reticle, formed from an original plan of a pattern of integrated circuits with a magnification ratio of the real size of the pattern of integrated circuits of five times, (hereinafter referred to as a five-times reticle), for transferring a specific pattern of integrated circuits to the surface of a wafer, not shown in the figure.

As far as the configuration of the mask (1a) is concerned, number (2) is a transparent mask substrate, made for instance from synthetic fused quartz with a refractive index of 1.47, whose main surface can be covered for instance with a specific form of a pattern of a metallic layer (3), which can be for instance 500 - 3000Å thick.

The metallic layer (3) can be made for instance from a layer of Cr, or it can be a lamination layer consisting of a layer of Cr with a layer of Cr oxide on top of it, forming the shaded area (A) during exposure. In addition, the part from which the metallic layer (3) has been removed forms during exposure the transmission area (B). Thus the original plan of the pattern of integrated circuits consists of the shaded areas (A) and transmission areas (B).

The application example 1 is arranged in such a way that the transparent film (4a) forms a pattern whose width is slightly wider than the width of the pattern of said metallic layer (3). In other words, in the mask (1a), the transmission film (4a) forms the pattern with a part of the transmission area (B), protruding from each of the metallic layers (3). To put it in another way, one transparent area (B) consists of a part that is covered by the transparent film (4a), and of a part that is not formed by the transparent film (4a).

The transparent film (4a) can contain indium oxide (InOx) or similar elements. For example, if the pattern width of the transmission area is 2 μm, the widths of the protruding transparent film (4a) will be approximately 0.5 μm.

In addition, if the thickness of the main surface of the substrate of the transparent film (4a) is X_1 , the refractive index of the substrate (2) is (n), and the wavelength of the rays irradiating during exposure is λ , the pattern is formed so as to achieve the following relationship between the transparent film (4a) and its thickness X_1 :

$$X_1 = \lambda / [2 (n - 1)] .$$

This is because when mask (1a) is irradiated during exposure, a phase difference of 180° is generated between the phase of those rays that were transmitted through one transmission area (B) as rays transmitted through the transparent film (4a), and the phase of the rays that are usually transmitted through the transmission area (B). For example, when the wavelength λ of the rays irradiating during exposure is 0.365 μm (i-line), and the refractive index of the

transparent film (4a) is 1.5, the thickness X_1 of the main surface of the substrate (2) of the transparent film X_1 can be approximately $0.37\text{ }\mu\text{m}$.

Furthermore, although it is not shown in the figure, when the mask (1a) is formed for instance with a transparent film (4a), a position alignment mark is created for alignment of the position of the metallic layer (3) when forming the transparent film (4a).

The following is an explanation of a method of manufacturing the mask (1a) according to this application example of this invention, which is based on Figures 2 (a) through (c).

First of all, as shown in Figure 2(a), a metallic layer (3), which can be for instance 500 to $3,000\text{ }\text{\AA}$ thick, is formed with the help of sputtering or a similar method on the main surface of a polished and washed transparent substrate (2). Next, the surface of this metallic layer (3) is coated with photoresist, which can be for instance 0.4 to $0.8\text{ }\mu\text{m}$ thick.

Then, after pre-backing the photoresist (5a), first of all an electronic beam (E) is used to irradiate a specific part of the photoresist (5a) by using the electronic beam exposure method, or a similar method which is based on pattern data collected from the form and position coordinates of the pattern of integrated circuits of the semiconductor, according to coding that can be recorded for instance on a magnetic tape, not shown in the figure.

Next, as shown in Figure 2 (b), the exposed part of the photoresist (5a) is removed with a specific developing liquid, and the exposed metallic layer (3) is etched by using dry etching or a similar method to create a specific form of the pattern.

After that, the photoresist (5a), is removed with a resist peeling liquid, the substrate (2) is washed, and after inspection, as shown in Figure 2(c), a transparent film (4a), made of indium oxide (InOx), or a similar material, which is about $0.37\text{ }\mu\text{m}$ thick, measured from the main surface of the substrate (2), is formed on the main surface of the substrate (2) so as to cover the metallic layer (3) by sputtering or a similar method.

The main surface of the transparent film (4a) is then covered with a photoresist (5b), which can be for instance $0.8\text{ }\mu\text{m}$ thick, and on top of that is created an antistatic layer (6), made of aluminum (Al), whose thickness can be for instance $0.5\text{ }\mu\text{m}$, by sputtering or a similar method.

As far as the pattern data relating to said pattern of integrated circuits is concerned, it is based on the pattern data from the transparent film (4a), obtained by enlargement or reduction of the width of the pattern of the shaded area (A) or of the transmission area (B), and the exposure is made by irradiating with electron beams (E) the remaining part of the photoresist (5b) on the transparent film (4a), with the electron beam method or a similar method.

The pattern data of said transparent film (4a) in the application example 1 of this invention can be created automatically for instance by expanding the width of the pattern of the shaded area (A). In other words, since the pattern data of the transparent film (4a) is created simultaneously with the pattern data of the integrated circuits and not as special pattern data, it can be created on the basis of the pattern data of the pattern of integrated circuits.

After the exposure of the photoresist (5b), the film is developed, a specific part of the transparent film (4a) is etched, the photoresist (5b) is removed, and after another washing, inspection, and similar steps, the mask (1a), shown in Figure 1, is manufactured.

When using the mask (1a) which was manufactured as explained above, transfer of a pattern of integrated circuits of the mask (1a) to a wafer, coated with photoresist, can be done for instance according to the following procedure:

Specifically, the mask (1a) and the wafer is arranged in a reduction projection exposure device, not shown in the figure, the original plan of the pattern of integrated circuits on the mask (1a) is optically reduced with a ratio of 1/5, projected to the wafer, and projected to and exposed on the wafer in repeated and sequential steps so as to transfer the pattern of integrated circuits to the entire surface of the wafer.

The following is an explanation of the operation of the application example 1 of this invention, based on Figures 3(a) through (d).

As shown in Figure 3(a), which represents the mask (1a) of the application example 1 of this invention, the original plan of a specific pattern of integrated circuits on the mask (1a) is transferred to the wafer by using the reduction exposure method or a similar method. During this transfer, a position change of 180° is generated between the rays that were transmitted through the usual transmission area (B) and the rays that were transmitted through the transparent film (4a), in respective transmission areas (B) of the mask (1) (see Figure 3(b) and (c)).

Since the transparent film (4a) is arranged at edges of each of the metallic layers (3), the rays that were transmitted through the usual area of transmission, and the rays that were transmitted through the transparent film (4a) among the rays transmitted through one area of transmission (B), will be in the end weakened in the boundary of the transmission area (B) and vicinity of the transmission area (B).

Consequently, the modulation of the distribution of the light intensity on the wafer is greatly improved (see Figure 3(d)). In particular, since the distortion at the edges of respective shaded areas of the projection on the wafer is greatly reduced, it is possible to improve considerably the resolution of the transfer of the pattern.

And since the light intensity is double the amplitude of the light, the waveform on the negative side of the amplitude of the light on the wafer will be reversed on the positive side as shown in Figure 3(d).

Incidentally, according to prior art methods, there were already some techniques generating a phase change in the area between rays that were transmitted through a pair of transmission areas, or, to put it in another way, techniques generating this operation in one of the two areas of transmission.

But, as was explained above during an explanation of the tasks that this invention is about to achieve, when using a complex pattern, such as a pattern of a real integrated circuit, together with a two-dimensional arrangement, the precision of the transfer will be partially reduced, which represented a restriction imposed on the transparent material.

In other words, it was extremely difficult to achieve an arrangement of the transparent material that would result in increasing the precision of the transfer of the overall pattern to the mask.

Consequently, since it was not possible to create automatically the pattern data of the transparent material, when such data was created, the arrangement had to be done in such a

way so as to take into account that the resolution of the pattern transfer will be partially decreased, which required computer processing of this pattern data, as well as special pattern design of the transparent material, and special drawing procedures.

In contrast to that, according to the mask (1a) of the application example 1 of this invention, a phase change is generated between the rays that were transmitted through one of the transmission areas, and since this technique increases the resolution of the transfer of the pattern, a corresponding arrangement of the transparent film (4a) is possible even when the pattern, created on mask (1a), is a complex one.

This is why the arrangement of the transparent film (4a) is simple, and why automatic processing is also possible on the basis of the pattern data of the shaded area (A), or of the transmission area (B), forming the integrated circuit pattern with the pattern data of the transparent film (4a).

When the application example is implemented as explained above, the following effects can be achieved:

- (1) In respective areas (B) of the mask (1a), a phase change of 180° is generated between the rays transmitted through the transparent film (4a), and the rays transmitted through the usual area of transmission (B). Since these rays are weakened in the boundary between the shaded area (A) and the transmission area (B), the modulation of the light intensity distribution on the wafer is greatly improved. In particular, it is possible to reduce considerably distortion at the border of the pattern image in the shaded area (A), projected on the wafer, and thus it is possible to greatly improve the resolution of the transfer of the pattern.
- (2) As was explained above under (1), there is no partial deterioration of the precision of the pattern transfer, even when the pattern created on the mask is a fine and complex pattern of integrated circuits, and thus it is possible to greatly improve the transfer precision of the overall pattern.
- (3) Since causing a phase shift in the transparent film (4a) requires only a phase shift of the rays transmitted through one area of transmission (B), arrangement of the pattern is simple even if it is a complex pattern of integrated circuits.
- (4) As was explained above under (3), automatic formation of the pattern data of the transparent film (4a) is possible on the basis of the pattern data from the transmission area (B), and from the shaded area (A), forming the pattern of integrated circuits.
- (5) As was explained above under (3) and (4), since it is possible to shorten the time required to create the pattern data of the transparent film (4a), it is also possible to shorten considerably the time required to manufacture mask (1a), with the formation of the transparent film (4a), together with the position shift.

Application Example 2

Figure 4 is a partial cross-sectional diagram of the main part of another application example of this invention; Figure 5 (a) and (b) are cross-sectional diagrams of the main part of the mask, explaining the manufacturing process of the mask; Figure 6 is a block diagram explaining the focusing beam device used to manufacture the mask; Figure 7 a) is a cross-sectional diagram showing the exposed state of the mask; and Figure 7(b) through (d) show the amplitude and the intensity of the rays transmitted through the areas of transmission of this mask.

In the mask (1b) of the second application example of this invention, shown in Figure 4(b), a different means is used to generate a phase shift in the rays transmitted through the transmission area (B) during the exposure than the one used in application example 1. Instead of using the transparent film of application example 1, a shift channel (7a) is created on the substrate (2), forming the transmission area (B) during the exposure.

The position shift channel (7a) is formed during the exposure along the edge of the metallic layer (3) of the shaded area (A). In other words, it is formed along the profile of the metallic layer (3). To give an example, when the width of the pattern of the transmission area (B) is for instance $2\text{ }\mu\text{m}$, the width of the position shift channel (7a) will be approximately $0.5\text{ }\mu\text{m}$.

When, for convenience's sake, it is assumed that the depth of the position shift channel (7a) is (d), the refractive index of the substrate (2) is n, and the wavelength of the rays irradiating during exposure is λ , then the depth of the position shift channel (7) should correspond to the following relationship:

$$d = \lambda / [(n - 1)]$$

This is because during the exposure, a position change of 180° will be generated between the rays transmitted through the usual transmission area (B), and the position of the rays transmitted through the position shift channel (7a), in respective transmission areas (B) of the rays irradiating the mask (1b). For instance, when the wavelength λ of the rays irradiating during the exposure is $0.365\text{ }\mu\text{m}$ (i line), the depth (d) of the position shift channel (7a) can be approximately $0.39\text{ }\mu\text{m}$.

In addition, although it is not shown in the figure, when the position shift channel (7a) is formed, a position alignment mark is created for alignment of the position of the metallic layer (3) on the mask (1b).

The following is an explanation of the focusing beam device used to manufacture the mask (1b), based on Figure 6.

Although it is not shown in the figure, the inner part of the ion source (9), mounted on the upper part of the main unit of the device, contains Gallium (Ga) or a similar molten liquid metal. In the lower part of the ion source (9), is mounted a drawing electrode (10), and in its upper part is mounted the first lens electrode (11a), provided with an electrostatic lens, and the first aperture electrode (12a). In the upper part of the aperture electrode (12a) is mounted the second lens electrode (11b), the second aperture electrode (12b), and the blanking electrode (13), controlling the ON and OFF action of the beam irradiation, as well as the third aperture electrode (12c), and a deflecting electrode (14).

In this configuration of respective electrodes, the ion beams, emitted from the ion source (9), are controlled by said blanking electrode (13) and deflecting electrode (14), and they are retained by the retainer (15) before creating the pattern by irradiating the mask (1b).

In addition, during scanning of the ion beams, the period of beam irradiation can be set for instance to $0.02 \times 0.02 \mu\text{m}$ per each pixel, and it is possible to conduct the etching process of the metallic layer (3) and of the substrate (2) by setting in advance the frequency of scanning.

The retainer (15) is mounted on the top of a material platform (16), which is capable of movements in directions X and Y. This material platform (16) is able to determine the position of a laser gage interferometer (17) in a laser mirror (17), mounted in the vicinity of the platform. This position can be adjusted with a driving motor (19), driving the material platform.

Furthermore, in the upper part of the retainer (15) is mounted a detector of secondary ions and secondary electrons (20), so as to detect generation of secondary ions and secondary electrons from the work piece. Finally, an electron shower emitter (21) is mounted in the upper part of said detector of secondary ions and secondary electrons (20) in order to prevent electrostatic charging of the work piece.

As shown in the figure, the configuration of the inner part of the processing system described above supports a vacuum state with a vacuum pump (22), shown in the lower part of said material platform (16).

Finally, said processing system is controlled by operations of respective controllers (23) through (27), mounted on the external part of the main unit of the device. Each controller (23) through (27), and each interface (28) through (32) is controlled by a controlling computer (33). This controlling computer (33) is provided with a terminal (34), a magnetic disk (35), storing the data, and an MT [magnetic tape] deck (36).

The following is an explanation of the manufacturing method used to produce mask (1b), based on Figures 5 (a), and (b), and Figure (6).

First of all, as shown in Figure 5 (a), a metallic layer (3), is placed on top of the main surface of a polished and washed substrate (2). After the metallic layer (3), which can be for instance 500 to 3,000 Å thick, is formed with the help of the sputtering method or a similar method, the mask (1b) is preserved in the retainer (15) of a focusing ion beam device (8).

Next, the ion beam is emitted from the ion source (9), and when this ion beam is focused by said electrodes, to create for instance a beam diameter of $0.5 \mu\text{m}$, it is possible to obtain a current of ion beams of approximately $1.5 \mu\text{A}$. This focused ion beam is then irradiating specific parts of the metallic layer (3) according to previously prepared pattern data of integrated circuit patterns, recorded on the magnetic tape of the MT deck (36), to carry out etching of the metallic layer (3). In this case, the time of irradiation per pixel can be for instance 3×10^{-6} seconds, and the frequency of scanning can be approximately 30 times. By doing so, it is possible to create a pattern on the metallic layer (3), such as the one shown in Figure 5 (b). It is also possible to use the electron beam exposure method, such as the one used in the application example 1, or a similar method.

After that, the aligning mark, not shown in the figure, created on the mask (1b), is irradiated with a specific amount of ion beams; secondary electrons, generated in this manner, are

detected by the detector of secondary ions and secondary electrons (20); and the coordinates of the position of the aligning mark are calculated according to the detection data.

Based on the coordinates of the position of the aligning mark, calculated in this manner, the material platform is then moved to permit the ion beams, generated during ion beam irradiation, to irradiate the position formed by the phase shift channel (7a).

Next, based on the pattern data of the position shift channel (7a), ion beams will irradiate the substrate (2), exposed by the formed pattern of the metallic layer (3) along the edges of the metallic layer (3), and the phase shift channel (7a) is formed. Since focusing ion beams are used in this case, it is easy to control the depth of the position shift channel (7a), its width, and other parameters.

In the application example 2 of this invention, the pattern data of said position shift channel (7a) can be automatically created for instance from the logical (AND) product of the pattern data from the transmission area (B), obtained by reversing the positive value of the pattern data from the pattern of integrated circuits, and of the pattern data obtained by broadening the pattern width of the shaded area (A).

In other words, there is no particular need to create the pattern data of the position shift channel (7a), since it can be created automatically on the basis of the pattern data of the pattern of integrated circuits.

When using the mask (1b), formed in this manner, the transfer of the pattern of integrated circuits to the mask (1b) on the wafer, coated with the photoresist, can be done for instance according to the following method.

Specifically, mask (1b) and the wafer are arranged in the reduction projection exposure device, not shown in the picture, the pattern of integrated circuits on the mask (1b) is optically reduced to 1/5 of its size and projected on the wafer. At the same time, the pattern of integrated circuits is transferred to the entire surface of the wafer by projection exposure in repeated sequential steps involving movements of the wafer.

The following is an explanation of the creation of the mask (1b) in the second application example of this invention, based on Figures 7 (a) through (d).

As shown in Figure 7 (a), when transferring the original plan of a specific pattern of integrated circuits to the mask (1b) during the process of exposure, a phase difference of 180° is generated between the rays transmitted through the usual area of transfer (B), and the rays transmitted through the position shift channel (7a) in each transmission area (B) of the mask (1b), (see Figure 7) (b) and (c).

Because of the arrangement of the edges of the metallic layer (3), the position shift (7a) is characterized by the fact that among the rays transmitted through one transmission area (B) are rays transmitted through the usual transmission area (B), and that the rays transmitted through the position shift channel (7a) are weakened in the boundary of the shaded area A and the shaded area (A), adjacent to the transmission area (B).

Consequently, modulation of the light intensity distribution on the wafer is greatly improved. In particular, it is possible to reduce considerably distortion at the border of the pattern image in

the shaded area (A), projected on the wafer, and thus it is also possible to greatly improve the resolution of the transfer of the pattern.

And since the light intensity is double the amplitude of the light, the waveform on the negative side of the amplitude of the light on the wafer, will be reversed on the positive side as shown in Figure 7 (d).

In addition, just like in the application example 1, also the mask (1b) of the application example 2 requires only a phase shift of the rays transmitted through one area of transmission (B) to cause a phase shift in the rays. Arrangement of the pattern of the phase shift (7a) is therefore simple even if it is a complex pattern of integrated circuits on the mask (1b), which enables automatic operations on the basis of the pattern data from the transmission area (B) and from the shaded area, creating the pattern of integrated circuits with the pattern data of the phase shift channel (7a).

However, since manufacturing of the mask (1b) of the application example 2 does not include the process of creating the transparent film (4a), causing the phase shift, as explained in application example 1, and the phase shift channel is created at the same time when the metallic layer (3) is subjected to patterning with focused ion beams, a significant reduction of the manufacturing time is possible.

When the application example 2 is implemented as explained above, the following effects can be achieved:

- (1) In respective areas (B) of the mask (1b), a phase change of 180° is generated between the rays transmitted through the position shift channel (7a), and the rays transmitted through the usual area of transmission (B). Since these rays are weakened in the boundary between the shaded area (A) and the transmission area (B), modulation of the light intensity distribution on the wafer is greatly improved. In particular, it is possible to reduce considerably distortion at the border of the pattern image in the shaded area (A), projected on the wafer, and thus it is possible to greatly improve the resolution of the transfer of the pattern.
- (2) As was explained above under (1), there is no partial deterioration of the precision of the pattern transfer, even when the pattern created on the mask is a fine and complex pattern of integrated circuits, and thus it is possible to greatly improve the transfer precision of the overall pattern.
- (3) Since causing a phase shift in the phase shift channel (7a) requires only a phase shift of the rays transmitted through one area of transmission (B), arrangement of the pattern is simple even if it is a complex pattern of integrated circuits.
- (4) As was explained above under (3), automatic formation of the pattern is possible on the basis of the pattern data from the transmission area (B), and from the shaded area (A), forming the pattern of integrated circuits of the phase shift channel (7a). Creation of the pattern data is thus simple, and it is possible to manufacture the mask (1b) in a short period of time.
- (5) When manufacturing the mask (1b), there is no need to create the transparent film (4a) to cause the phase shift, as explained in application example 1. In addition, since the

position shift channel (7a) will be also formed during patterning of the metallic layer (3) with focusing ion beams, it is possible to shorten the time required to manufacture the mask.

- (6) It is possible to increase considerably the life span of the mask (1b) since there is no deterioration of the transparent film (4a), caused by washing and similar processes after the formation of the pattern.

Application Example 3

Figure 8 is a cross-sectional diagram showing the main part of the mask of still another application example of this invention; Figure 9 is a surface view of the main part of this mask; Figure 10 (a) is a cross-sectional view of the exposed state of the mask shown in Figure 8 and in Figure 9; and Figures 10 (b) through (d) are explanatory diagrams showing the amplitude and intensity of the light transmitted through the transmission areas of this mask.

First of all, both Figures 8 and 9 explain the mask (1c) of the application example 3 of this invention; while Figure 9 explains also the rectangular form of the transmission area (B) of the application example 3.

The mask (1c) of the application example 3 can be made for instance as a five-times reticle, by transferring a specific pattern of integrated circuit to a wafer, not shown in the figure, during a specific manufacturing process of a semiconductor, so that multiple channels (37), reaching from the top surface of the metallic layer to the main surface of the substrate (2), are created in the metallic layer (3), forming the shaded area (A). As shown in Figure 9, these channels (37) are created next to the rectangular area (B), so as to be surrounded by rectangular areas (B), and they are arranged parallel along the edges of the transmission area (B). As far as the width of the channels (37) is concerned, they can be for instance $0.5\text{ }\mu\text{m}$ wide.

In addition, a transparent film (4b) with a refractive index of 1.5, made for instance from indium oxide (InOx), is formed on the upper part of the channel (37). During exposure, a phase change is generated between the rays transmitted through the transmission area (B) and the rays transmitted through the channel (37) and through this transparent film (37).

The thickness of the transparent film (4b) from the main surface of the substrate X_2 can be identical to the thickness of the film in application example 1, and to generate a phase change of 180° between the phase of the rays transmitted through the transmission area B and the phase of the rays transmitted through the channel (37) and the transparent film (4b) during exposure, when the mask (1c) is irradiated with these rays, the relationship $X_2 = \lambda / [2 (n - 1)]$ should be maintained.

For example, when the wavelength λ of rays irradiating during exposure is $0.365\text{ }\mu\text{m}$ (i-line), the thickness X_2 , measured from the main surface of the substrate (2) of the transparent film (4b) can be approximately $0.37\text{ }\mu\text{m}$.

In addition, although it is not shown in the figure, a position alignment mark is created for alignment of their positions on the metallic layer (3) when the channel (37) and transparent film (4b) are formed.

When manufacturing the mask (1d), it is possible to use for instance the following procedure:

First of all, a metallic layer (3) is placed on top of the main surface of a polished and washed substrate (2). After the metallic layer (3), which can be for instance 500 to 3,000 Å thick, is formed with the help of sputtering or a similar method, the mask is preserved in the retainer (15) of a focusing ion beam device (8) in the same way as in application example 2.

Next, based on the pattern data of integrated circuits recorded in advance on a magnetic tape of an MT deck (36), the pattern is created with ion beams on the metallic layer (3), covering the main surface of the substrate (2).

After that, based on the pattern data of the channel (37), recorded in advance on the magnetic tape of the same MT deck, ion beams will irradiate the metallic layer on the main surface of the substrate (2), and the channel (37) is formed in the metallic layer (3). The pattern data of this channel (37) can be created automatically, for instance by setting specific rules for the arrangement of the channel (37) against the rectangular transmission area (B).

Finally, the transparent film (4b) is formed in the same way as in application example 1, based on the pattern data of the transparent film (4b), created on the bases of the pattern data of the channel (37), and on the basis of the pattern data of the pattern of integrated circuits.

The following is an explanation of the operation of the application example 3, based on Figures 10 (a) through (d).

Figure 10 (a), shows the transfer of an original plan of a specific pattern of integrated circuits on the mask (1c) of a wafer by using the reduction exposure method or a similar method; Figures 10 (b) and (c) show the generation of a phase difference of 180° in each transmission area (B) of the mask (1c) between the rays transmitted through the transmission area (B), and the rays transmitted through the channel (37) and the transparent film (4b).

Among the rays transmitted through one transmission area (B), rays transmitted through the transparent film (4b) and through the usual transmission area (B), and the rays transmitted through the position shift channel (37) are weakened in the boundary of the transmission area (A) and the shaded area (A), adjacent to the transmission area (B).

Consequently, modulation of the distribution of light intensity on the wafer is greatly improved, it is possible to reduce considerably distortion at the border of the pattern image in the shaded area (A), projected on the wafer, and thus it is possible to greatly improve the resolution of the transfer of the pattern.

And since the light intensity is double the amplitude of the light, the waveform on the negative side of the amplitude of the light on the wafer, will be reversed on the positive side as shown in Figure 10 (d).

In addition, also in the application example 3, the mask (1c) requires only a phase shift of the rays transmitted through one area of transmission (B) to cause a phase shift in the rays. Arrangement of the pattern of the channel (37) and of the transparent film (4b) is therefore simple, and this enables automatic operations on the basis of the pattern data from the transmission area (B) and of the rectangular shape of the pattern of integrated circuits with the pattern of the channel (37) and the transparent film (4b).

When the application example is implemented as explained above, the following effects can be achieved:

- (1) In respective areas (B) of the mask (1c), a phase change of 180° is generated between the rays transmitted through the transparent film (4b) and channel (37), and the rays transmitted through the usual area of transmission (B). Since these rays are weakened in the boundary between the shaded area (A) and the transmission area (B), the modulation of the light intensity distribution on the wafer is greatly improved. In particular, it is possible to reduce considerably distortion at the border of the pattern image in the shaded area (A), projected on the wafer, and thus it is possible to greatly improve the resolution of the transfer of the pattern.
- (2) As was explained above under (1), there is no partial deterioration of the precision of the pattern transfer, even when the pattern created on the mask is a fine and complex pattern of integrated circuits, and thus it is possible to greatly improve the transfer precision of the overall pattern.
- (3) Since causing a phase shift in the transparent film (4b) and the channel (37) requires only a phase shift of the rays transmitted through one area of transmission (B), arrangement of the pattern is simple even if it is a complex pattern of integrated circuits.
- (4) As was explained above under (3), automatic formation of the pattern is possible on the basis of the pattern data from the transmission area (B), and on the basis of the pattern data from the shaded area (A), forming the pattern of integrated circuits of the channel (37) and the transparent film (4b).
- (5) As was explained above under (3) and (4), since it is possible to shorten the time required to manufacture the pattern data of the transparent film (4a), it is also possible to shorten the time required to manufacture the mask (1a), created by causing the shift position of the transparent film (4a) and the channel (37).

Application Example 4

Figure 11 is a cross-sectional diagram showing the main part of the mask of still another application example of this invention; Figure 12 is a surface view of the main part of the mask; Figure 13 (a) is a cross-sectional diagram showing the exposed state of the mask shown in Figures 11 and 12; and Figures 13 (b) through (d) are explanatory diagrams explaining the amplitude and the intensity of the rays transmitted through the areas of transmission.

First of all, Figure 11 and Figure 12 explains the mask (1d) of the application example 4 of this invention.

The means that is used in the mask (1d) of the application example 4 of this invention to generate the position shift between the rays transmitted through the transmission area (B) and the rays transmitted through the channel (37) during the exposure, is to create the position shift channel (7 b) in the substrate of the lower part of the channel (37), instead of the transparent film (4b), used in the application example 3.

The depth of the position shift channel (7) can be identical to the application example 2. In order to generate a phase change of 180° between the phase of the rays transmitted through the

transmission area (B) and the phase of the rays transmitted through the phase shift channel (7 b) and the channel (37), during exposure of the mask (1b) with irradiating rays, the relationship $d = \lambda / [(n - 1)]$ should be maintained. For example, when the wavelength λ of rays irradiating during exposure is $0.365 \mu\text{m}$ (i-line), the thickness d of the phase shift channel (7 b) can be approximately $0.39 \mu\text{m}$.

In addition, a minute sub-transmission area (C) with a rectangular shape, measuring $0.5 \times 0.5 \mu\text{m}$, is created in the application example 4, for instance in the four corners of the rectangular transmission area (B), as shown in Figure 12. Because of the miniaturization of the pattern of integrated circuits, the pattern line created in the four corners on the wafer after the exposure serves to prevent nonconformity of the pattern, so that the right angles of the original plan of the pattern of the integrated circuits, formed on the wafer, would not become in the end rounded. In other words, since the maximum intensity of light in the pattern of integrated circuits can easily drop, a large distortion can easily occur in the corners. By creating a sub-transmission area (C), the light intensity in the vicinity of the corners is increased, and the projected pattern image is corrected.

Moreover, although it is not shown in the figure, when sub-transmission areas (C) are created for instance in the channel (37) of the mask (1c), a position alignment mark, aligning the position of these areas with the metallic layer (3), is also created.

Also, when manufacturing the mask (1d), etching of the metallic layer (3) is conducted with a beam of ions, and when the channel (37) is created, it is possible to increase the frequency of scanning with the beam of ions, and etching can be done only within the depth (d) of the substrate (2).

The following is an explanation of the operation of the application example 4, based on the Figures 13 (a) through (d).

As shown in Figure 13 (a), when transferring the original plan of a specific pattern of integrated circuits to a wafer with the reduction exposure method or a similar method, a phase change of 180° is generated between the rays transmitted through the transmission area (b), and the rays transmitted through the channel (37) and the phase shift channel (7 b) in each of the transmission areas (B) of the mask (1d), (see Figure 13) (b) and (c).

Among the rays transmitted through one transmission area (B), rays transmitted through the channel (37) and through the phase shift channel (7 b), and the rays transmitted through the transmission area (B) are weakened in the boundary of the transmission area (A) and the shaded area (A), adjacent to the transmission area (B).

Consequently, modulation of the light intensity distribution on the wafer is greatly improved (see Figure 13 (d)). In particular, it is possible to reduce considerably distortion at the border of the pattern image in the shaded area (A), projected on the wafer, and since it is also possible to increase the intensity of light in the vicinity of the corners with the sub-transmission area (C), formed in the corners of the rectangular transmission area (B), the resolution of the transfer of the pattern image is greatly improved.

And since the light intensity is double the amplitude of the light, the waveform on the negative side of the amplitude of the light on the wafer will be reversed on the positive side as shown in Figure 13 (d).

In addition, also in the application example 4, the mask (1d) requires only a phase shift of the rays transmitted through one area of transmission (B) to cause a phase shift in the rays. Arrangement of the pattern of the channel (37) is therefore simple, and automatic operations of the pattern data of the channel (37) are enabled by setting arrangement rules for the channel (37) in relation to the pattern of the rectangular area (B), forming the pattern of integrated circuits.

When manufacturing the mask (1d) in the application example 4, in addition to the effects listed under items (1) through (4) of the application example (3), an additional effect is that the process of forming the transparent film (4b), causing the phase shift, as explained in application example 3, is not required.

Also, during the patterning of the metallic layer (3) with a focusing beam of ions, it is also possible to form at the same time the phase shift channel (7b), which makes it possible to shorten the time required to manufacture the mask.

It is further also possible to increase considerably the life span of the mask (1d) since there is no deterioration after the formation of the transparent film (4b), as was the case in the mask (1c) of application example 3, where it was caused by washing and similar processes.

Needless to say, this invention is not limited to the application examples above, which served only to provide concrete application examples invented by the inventors of this invention, and various modifications of this invention are possible, provided that they do not deviate from the gist of this invention.

For example, in the mask of the application example 1 of this invention it was explained that one part of the transmission area protruded from the edge of the metallic layer with the transparent film, causing the phase shift. The application example, however, is not limited to this solution, since for instance it is also possible to have an arrangement of the transparent film (4c) in the vicinity of the center of the transmission area (B), as shown on the mask (1e) in Figure 14.

Also in this case, as shown in Figure 16(a) through (d), a phase difference of 180° is generated between the rays transmitted through the usual area of transmission (B), and the rays transmitted through the transparent film (4a), in each of respective areas (B), of the mask (1e), shown in Figure 16(a), (see Figures 16(b) and (c)). And since among the rays that were transmitted through one transmission area (B), rays transmitted through the usual transmission area (B) and rays transmitted through the transparent film (4c), will be weakened in the boundary between the shaded area (A) and the transmission area (B), modulation of the light intensity distribution on the wafer is greatly improved (see Figure 16(d)).

In this case, it is also possible to create the patterning of the transparent film (4c) for instance by reversing the negative value of the pattern data of the pattern of integrated circuits, and the pattern can be then created by reducing the pattern obtained from the shaded area.

Although in the mask of the application example 2 it was explained that the phase shift channel was arranged along the edges of the metallic layer (3), this invention is not limited only to this solution. For example, it is also possible to create the phase shift channel (7c) adjacent to the center of the transmission area (B). Also in this case, the same operation that is shown in Figures 16(b) through (c), will be obtained.

It is also possible for instance to create a part with a simple arrangement of a pattern of integrated circuits that resembles a memory cell, so that a pair of transmission areas (B) and (B), between which is inserted a shaded area (A) of a mask (1g), create a phase shift channel (7d) at least in one direction.

As far as creating the shift in the phase of the rays, this method is identical to prior art methods of creating a transparent film on one side of a pair of transmission areas. However, since no transparent material is used, it is possible to greatly reduce the time required for manufacturing, and there is no deterioration that is usually caused by washing after the transparent material is formed, so that the overall effect is again a greatly increased life span of the mask.

Although both in application examples 3 and 4 the explanation described a rectangular shape of transmission areas, the invention is not limited to this shape only, as it is possible to apply various shapes to it.

Furthermore, although indium oxide was used in the explanation of the transparent film of the application examples 1 and 3, the invention is not limited only to this material, as it is also possible to use magnesium fluoride, polymethyl methacrylate, and similar materials.

Although according to the explanation of the above described invention this invention is to be used for manufacturing of semiconductors, this is because it represents the background of the inventors of this invention. However, this does not limit its application, since there are also various other possibilities. It is possible to apply it also to technologies required to transfer complex and fine patterns to a specific substrate by using the photolithography technique.

The Effect of the Invention

To explain in simple terms typical effects of the invention disclosed above, it has the following effects:

Specifically, in accordance with the means of claim 1, 3, 6, and 7, mentioned above, during exposure, advantage is taken of rays transmitted through a transparent film of one area of transmission, of rays transmitted through a phase shift channel, and of rays transmitted through a part where this channel is not formed, so that the resolution of the transfer of a pattern on a mask is improved by weakening interference in the edges of the shaded area and in the boundary between the transmission area and the shaded area.

In other words, since the resolution of transfer is improved by generating a phase shift in rays transmitted through individual areas of transmission, even if a complex pattern is formed on the mask, it is possible to form a transparent film or a phase shift channel that corresponds to this complexity.

Therefore, it is possible to improve the resolution of the transfer on the entire surface of the pattern, even if the pattern on the mask is a complex one.

Furthermore, arrangement of the transparent film, or of the phase shift channel, representing the means to cause the phase shift, is simple.

Since in accordance with the claims 2 and 4 of this invention it is not particularly necessary to create the pattern data of the transparent film or of the phase shift channel, a considerable reduction of the time that is required to manufacture the transparent film, causing the phase shift, and the mask, provided with the phase shift channel, is possible.

Since in accordance with the claim 5 of this invention, the phase shift channel is formed in a short period of time, it is also possible to manufacture the mask with the formed phase shift channel in a short period of time.

Since in accordance with the claim 8 of this invention it is possible to create a phase difference of 180° between the rays transmitted through the usual area of transmission, and the rays transmitted through the phase shift channel, it is possible to weaken the interference between these rays.

4. BRIEF EXPLANATION OF FIGURES

Figure 1 is a cross-sectional view of the main part of the mask of one application example of this invention;

Figure 2 (a) through (c) are cross-sectional views of the main part of the mask, showing the process of manufacturing of the mask;

Figure 3 (a) is a cross-sectional view showing the exposed state of the mask of Figure 1;

Figures 3 (a) through (c) are explanatory diagrams showing the amplitude and intensity of the rays transmitted through the areas of transmission of this mask;

Figure 4 is a cross-sectional view of the mask of another application example of this invention;

Figures 5 (a) and (b) are cross-sectional views of the main part of the mask, showing the process of manufacturing of this mask;

Figure 6 is a block diagram of the focusing ion beam device used when manufacturing this mask;

Figures 7 (a) through (d) are explanatory diagrams, showing the amplitude and the intensity of the rays transmitted through the transmission areas of this mask;

Figure 8 is a cross-sectional view of another application example of this invention;

Figure 9 is a surface view of the main part of this mask;

Figures 10 (b) through (d) are explanatory diagrams showing the amplitude and intensity of the rays transmitted through the areas of transmission of this mask;

Figure 11 is a cross-sectional view showing the main part of the mask of another application example of this invention;

Figure 12 is a surface view of the main part of this mask;

Figure 13 (a) is a cross-sectional view of the mask shown in Figure 11 and Figure 12;

Figures 13 (b) through (d) are explanatory diagrams showing the amplitude and intensity of the rays transmitted through the areas of transmission of the mask;

Figure 14 is a cross-sectional view of the main part of the mask of still another application example of this invention;

Figure 15 is a cross-sectional view of the main part of the mask of still another application example of this invention;

Figure 16 (a) is a cross-sectional view of the exposed state of the mask shown in Figure 14;

Figures 16 (b) through (d) are explanatory diagrams showing the amplitude and intensity of the rays transmitted through the area of transmission of mask shown in Figure 14;

Figure 17 is a cross-sectional view of the main part of the mask of still another application example of this invention;

Figure 18 (a) is a cross-sectional view showing the exposed state of the mask according to prior art methods;

Figures 18 (b) through (d) are explanatory diagrams showing the amplitude and intensity of the rays transmitted through the area of transmission of mask according to prior art methods;

Figure 19 (a) is a cross-sectional view showing the exposed state of the mask according to prior art methods;

Figure 19 (b) through (d) are explanatory diagrams showing the amplitude and intensity of the rays transmitted through the area of transmission of a mask according to prior art methods;

and Figure 20 is a surface view of the main part of a mask according to prior art methods.

The coding in the figures refer to:

- | | |
|---|---|
| Number (1a) through (1f) is a mask; | (21) is an electron shower emitter; |
| (2) is a mask substrate; | (22) is a vacuum pump; |
| (3) is a metallic layer; | (23) through (27) are controlling parts; |
| (4a) through (4c) is a transparent film; | (28) through (32) are interface parts; |
| (5a) and (5b) is a photoresist; | (33) is a controlling computer; |
| (6) is an antistatic layer; | (34) is a terminal; |
| (7a) through (7d) are phase shift channels; | (35) is a magnetic disk; |
| (8) is a focusing ion beam device; | (36) is an MT [magnetic tape] deck; |
| (9) is a ion source; | (37) is a channel; |
| (10) is a drawing electrode; | (A) is a shaded area; |
| (11a) and (11b) are first and second lens electrodes; | (B) is a transmission area; |
| (12a) through (12c) are first - third aperture electrodes; | (C) is sub-transmission area; |
| (13) is a blanking electrode; | (E) is a an electron beam; |
| (14) is a deflecting electrode; | (50) and (51) are masks according to prior art; |
| (15) is a retainer; | (52) is a transparent film; |
| (16) is a material platform; | (53) is a pattern of integrated circuits; |
| (17) is a laser mirror; | (P) through P ₃ are transmission areas of a zone according to prior art; and |
| (18) is a laser interference length measuring device; | (N) through (N ₃) are shaded areas according to prior art. |
| (19) is a motor driving the material platform; | |
| (20) is a detector of secondary ions and secondary electrons; | |

Patent Attorney: Yamato Tsutsui

Figure 1

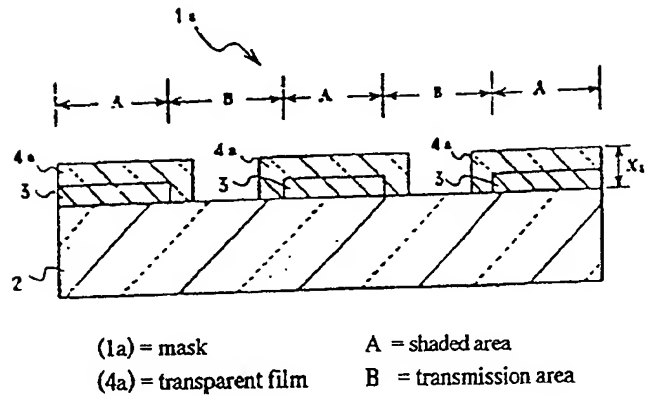


Figure 2
(a)

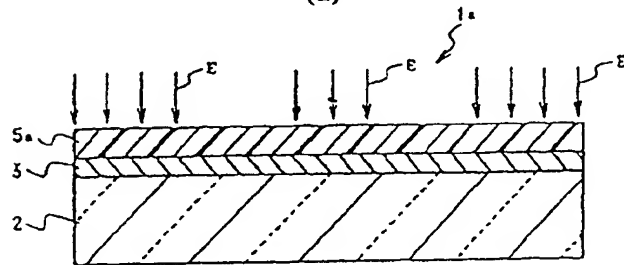


Figure 2
(b)

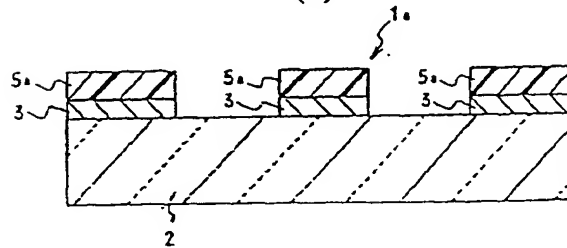


Figure 2
(c)

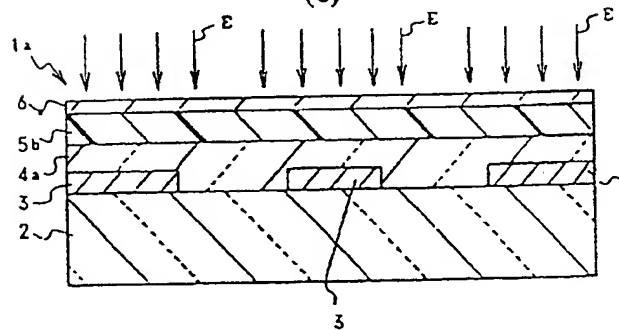


Figure 3

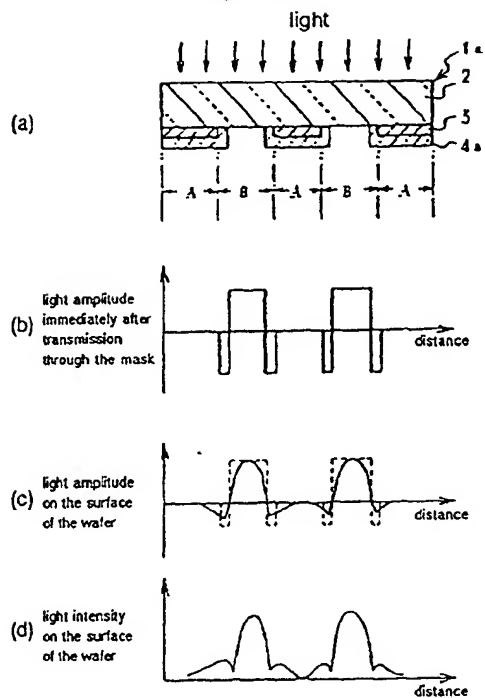


Figure 4

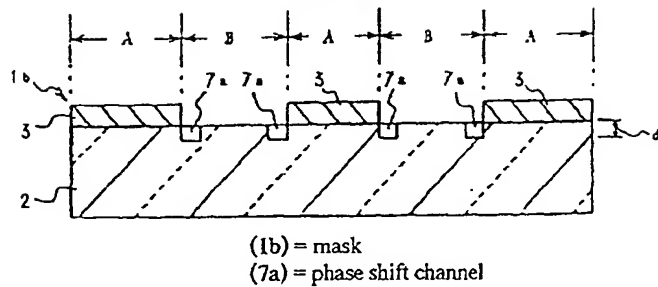


Figure 5
(a)

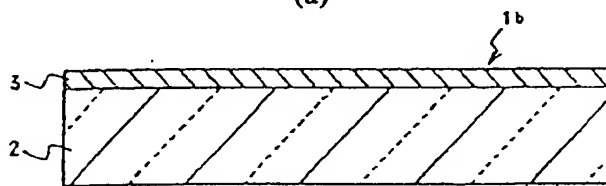


Figure 5
(b)

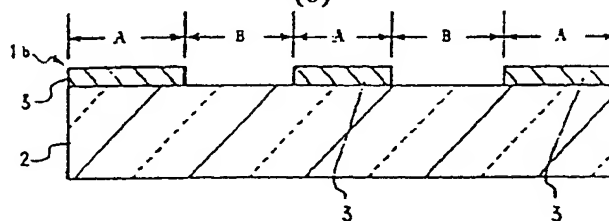
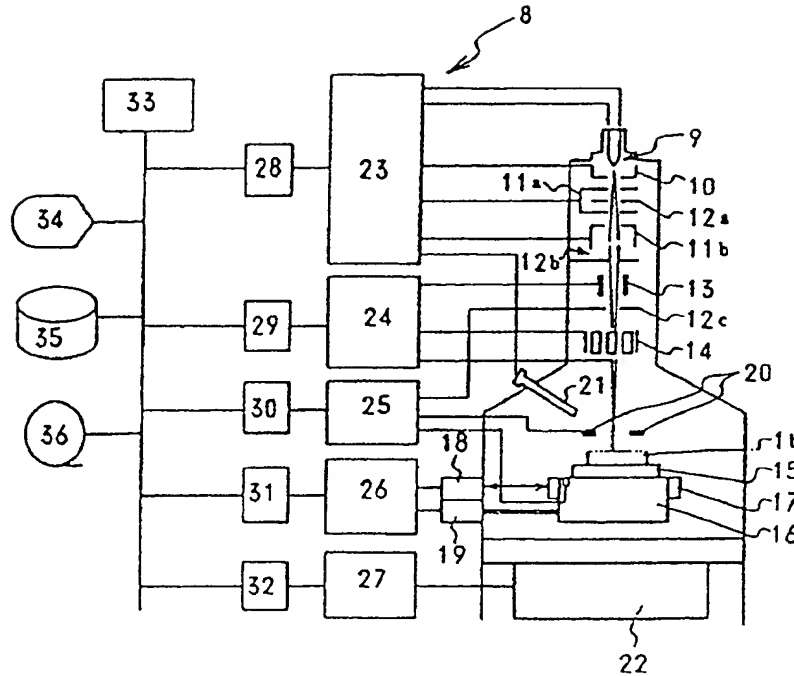
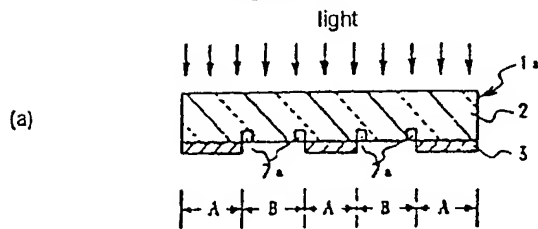


Figure 6

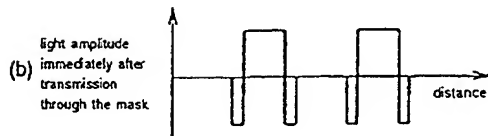


(8): focusing ion beam device

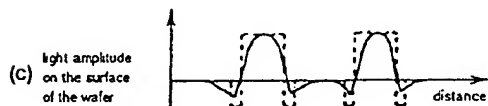
Figure 7



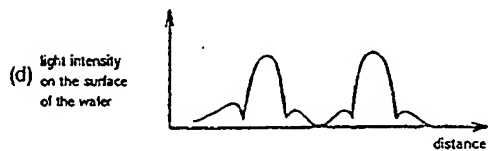
(a)



(b)



(c)



(d)

Figure 8

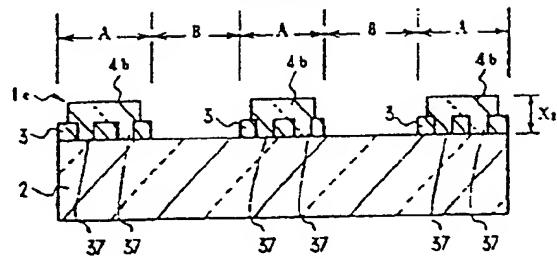
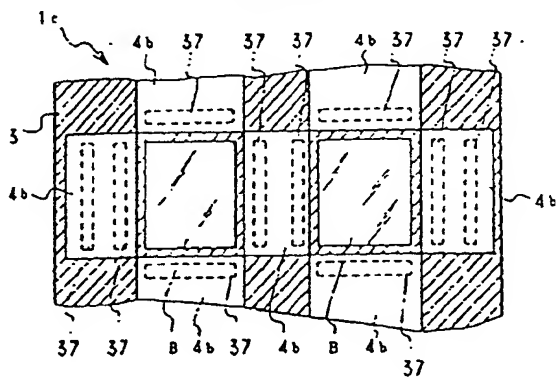


Figure 9



(1c) = mask

(4b) = transparent film

(37) = channel

Figure 10

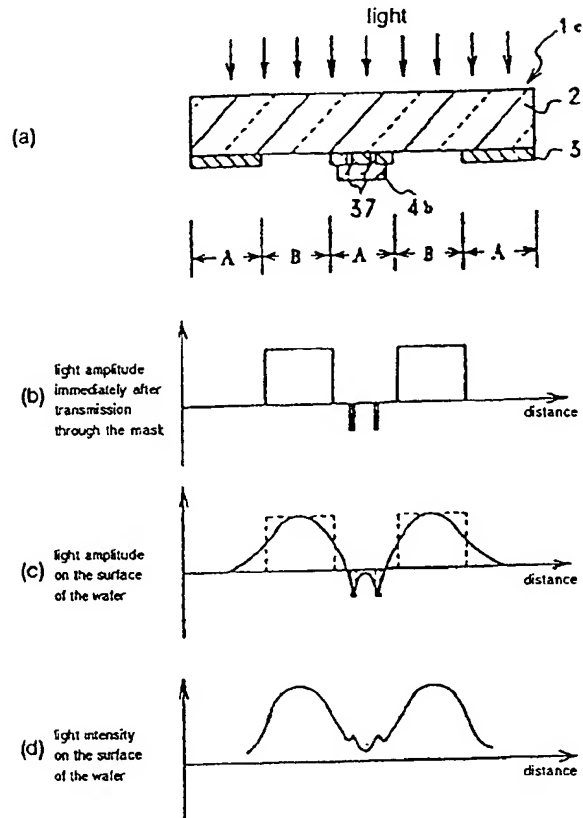


Figure 11

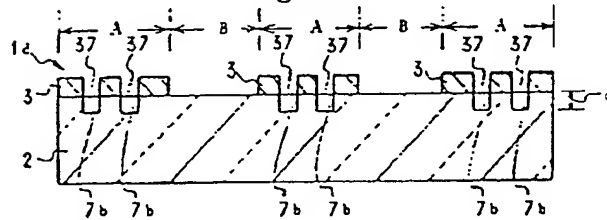
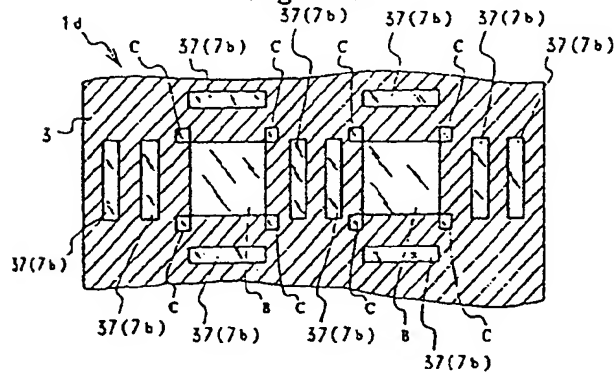


Figure 12



(1c) = mask (37) = channel
(4b) = phase-shift channel

Figure 13

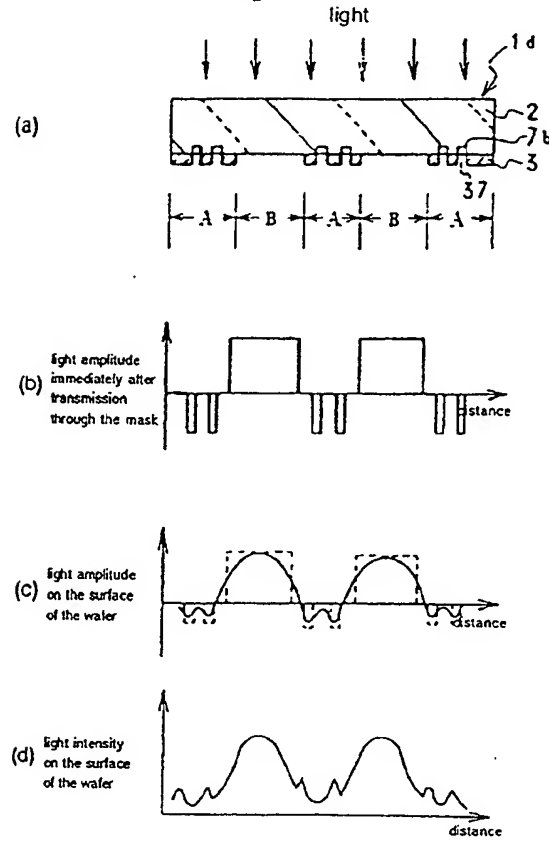


Figure 14

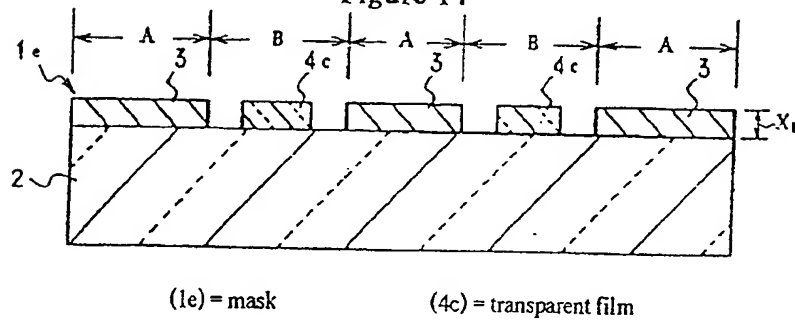


Figure 15

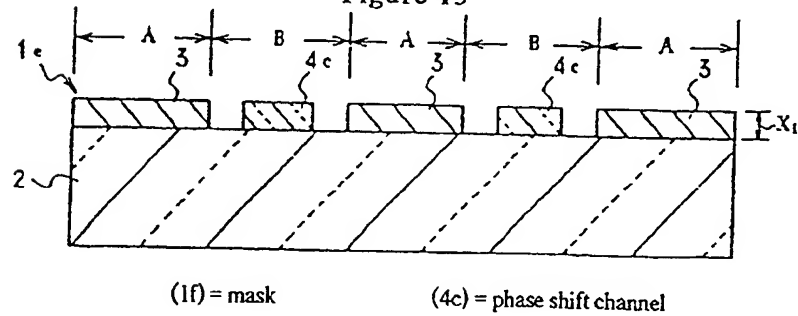


Figure 16

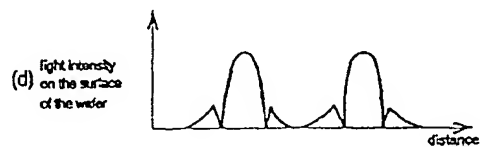
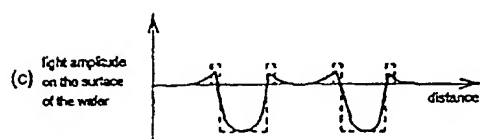
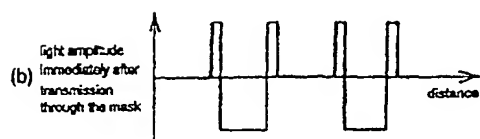
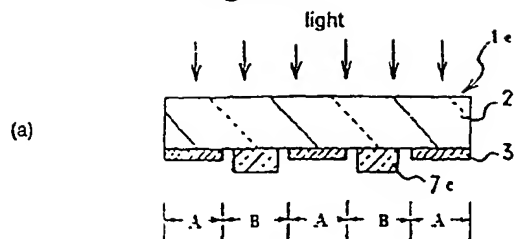


Figure 17

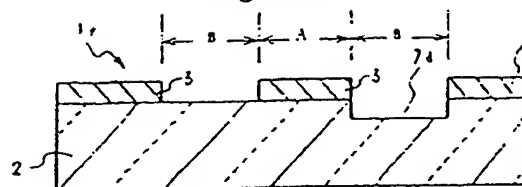


Figure 20

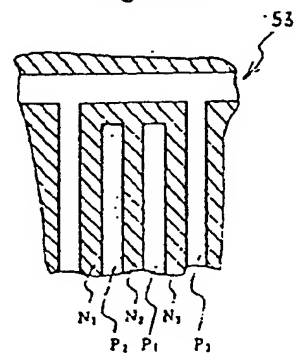


Figure 18

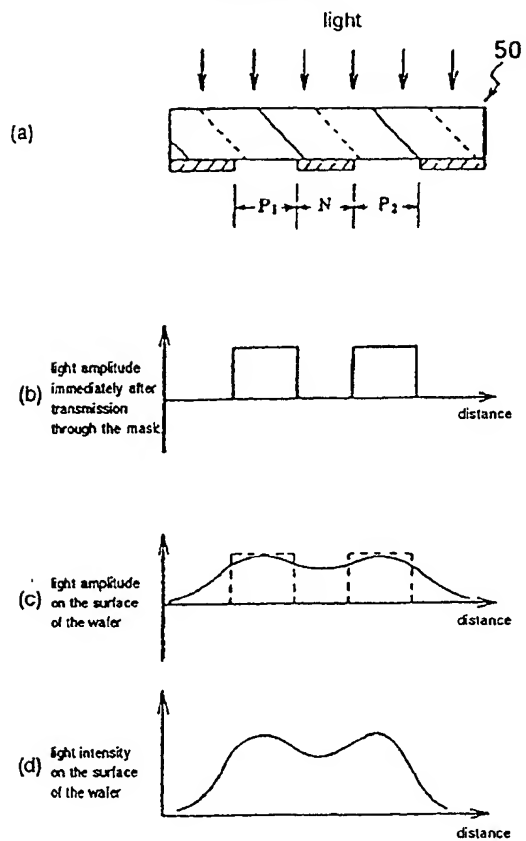


Figure 19

